50 BANDEN
COMPLEET

tijdschrift van het

nederlands elektronica- en radiogenootschap

deel 50 – Nr. 6 – 1985

nederlands elektronica- en radiogenootschap

Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap
Postbus 39, 2260AA Leidschendam. Gironummer 94746
t.n.v. Penningmeester NERG, Leidschendam.

HET GENOOTSCHAP

De vereniging stelt zich ten doel het wetenschappelijk onderzoek op het gebied van de elektronica en de informatietransmissie en - verwerking te bevorderen en de verbreiding en toepassing van de verworven kennis te stimuleren.

Lidmaatschap

Voor lidmaatschap wende men zich tot de secretaris. Het lidmaatschap staat open voor academisch gegradueerden en hen, wier kennis of ervaring naar het oordeel van het bestuur een vruchtbarellidmaatschap mogelijk maakt. De contributie bedraagt fl.60.-per jaar.

Studenten aan universiteiten en hogescholen komen bij gevorderde studie in aanmerking voor een junior-lidmaatschap, waarbij 50% reductie wordt verleend op de contributie. Op aanvraag kan deze reductie ook aan anderen worden verleend.

HET TIJDSCHRIFT

Het tijdschrift verschijnt zesmaal per jaar. Opgenomen worden artikelen op het gebied van de elektronica en van de telecommunicatie.

Auteurs die publicatie van hun wetenschappelijk werk in het tijdschrift wensen, wordt verzocht in een vroeg stadium kontakt op te nemen met de voorzitter van de redactie commissie.

De teksten moeten, getypt op door de redactie verstrekte tekstbladen, geheel persklaar voor de offsetdruk worden ingezonden.

De abonnementsprijs van het tijdschrift bedraagt f 60,--. Aan leden wordt het tijdschrift kosteloos toegestuurd.

Tarieven en verdere inlichtingen over advertenties worden op aanvrage verstrekt door de voorzitter van de redactiecommissie.

DE EXAMENS

De door het Genootschap ingestelde examens worden afgenomen in samenwerking met de "Vereniging tot bevordering van Elektrotechnisch Vakonderwijs in Nederland (V.E.V.)". Het betreft de examens:

a. op lager technisch niveau: "Elektronica monteur N.E.R.G.";
b. op middelbaar technisch niveau: "Middelbaar Elektronica technicus N.E.R.G.".

Voor deelname, inlichtingen omtrent exameneisen, reglement, en uitgewerkte opgaven wende men zich tot het Centraal Bureau van de V.E.V., Barneveldseweg 39, 3862 PB Nijkerk; tel. 03494 - 4844.

Van het Bestuur.

Op 15 mei 1920 werd het Nederlands Radio Genootschap opgericht. Tijdens een daarop volgende vergadering op 29 mei werd besloten, "dat besprekingen zouden worden gevoerd met bestaande tijdschriften tot het bekomen van een officieel orgaan". Zo lezen wij in het eerste jaarverslag van de secretaris van het genootschap. Dat men geen gras heeft laten groeien over het voornemen om publicaties te gaan verzorgen moge blijken uit het feit dat reeds in 1920 een tijdschrift verscheen met als eerste artikel een bijdrage van Dr. Balth van der Pol, Jr., toenmalige vice-voorzitter van het genootschap, onder de titel "De amplitude van vrije en gedwongen triodetrillingen".

Hoe de bovengenoemde besprekingen verlopen zijn vermeldt het eerste jaarverslag niet. Wel wordt medegedeeld dat "Wat betreft dit tijdschrift er aan wordt herinnerd, dat voornamelijk financiële overwegingen leidden tot het uitgeven van een *eigen* tijdschrift".

Inmiddels is de vijftigste band van het tijdschrift compleet. De hoofdredacteur en de redactiecommissie hebben daarom gemeend aan het verschijnen van dit nummer een feestelijk cachet te moeten geven. Het bestuur van het genootschap prijst zich gelukkig dat de redactie met dit initiatief is gekomen. Het resultaat vindt U in het voorliggende tijdschrift, waarbij opgemerkt dient te worden dat het spitwerk om de foto's uit het enigszins grijze verleden op te sporen door de hoofdredacteur ir. M. Steffelaar is verricht.

Voor diegenen onder U die niet onbekend zijn met de perikelen die verbonden zijn aan het uitgeven van een eigen tijdschrift voor een groep beroepsbeoefenaars, zal het duidelijk zijn dat het genootschap gelukkig mag zijn met het beleid dat m.b.t. het tijdschrift sedert 1973 wordt gevoerd. Dit beleid houdt in dat de auteurs hun bijdragen inleveren in een vorm die rechtstreekse reproductie mogelijk maakt. De redactionele en typografische kosten zijn daarmee geminimaliseerd. Een dergelijke werkwijze bleek bij andere tijdschriften niet mogelijk. Daarom besloot het toenmalige NERG-bestuur in 1973 om *financiële* redenen tot dit beleid. En daarmee zijn we dan weer terug in 1920!

Terwijl om ons heen tijdschriften verdwijnen tengevolge van een verkeerd redactioneel en commercieel beleid en andere tijdschriften weer moeizaam opnieuw ten doop worden gehouden, vertoont het NERG-tijdschrift een verheugende continuiteit die tot uiting komt in de stijl

vervolg kolom 1 volgende pagina.

Van de redactiecommissie.

Met het verschijnen van dit zesde nummer is de 50e band van het Tijdschrift van het NERG compleet. De redactiecommissie heeft dit nummer een wat feestelijke inhoud gegeven. Feestelijke uitgaven van het tijdschrift zijn er al diverse geweest in de 65 jaar dat het genootschap bestaat. Op de jubileumuitgave van 1930 komen we nog terug. Men stelt natuurlijk direct de vraag: waarom is nu niet de 65e jaargang uitgekomen? Dit komt doordat de eerste elf banden meerdere jaargangen beslaan. In de eerste jaren waren er veel minder publicaties, waardoor er pas na enkele jaren weer een band gereed was. Onderstaande tabel geeft aan in welke band de publicaties uit een bepaald jaar zijn opgenomen.

Band	Jaren
1	1920 en 1921
2	1922 t/m 1925
3	1926 t/m 1928
4	1929 en 1930
5	1930 en 1931
6	1932 t/m 1934
7	1935 t/m 1937
8	1938 t/m 1940
9	1941 en 1942
10	1943
11	1944 t/m 1946
12	1947

Na 1947 is elk jaar een band gereedgekomen. De vereniging is in het bezit van de complete reeks banden.

Het tijdschrift wordt verzorgd door een hoofdredacteur, bijgestaan door een redactiecommissie. De uitvoering van de besluiten van de redactiecommissie is als regel een taak van de hoofdredacteur. Doordat veel hoofdredacteuren lang aanbleven is hun aantal beperkt gebleven tot zes.

H. Wesselius Oncken	1920 t/m 1951
Ir. H.T. Hylkema	1952 t/m 1960
Prof.ir. L. Krul	1961 t/m 1965
Ir. Th.J. Weijers	1966 en 1967
Ir. K. Vredenbregt	1968 t/m 1972
Ir. M. Steffelaar	1973 tot heden.

Tot 1968 werd volgens het traditionele looddruk-procédé gewerkt. In 1968 kwam samenwerking met het KIVI tot stand en werd het tijdschrift eens per maand opgenomen in de "Ingenieur". Na 1972 is de samenwerking verbroken. Het tijdschrift is nadien uitgegeven in offsetdruk. De auteurs wordt verzocht de teksten te leveren in een standaard format. Deze toegestuurde teksten worden direct gebruikt voor de offsetdruk. Op deze wijze blijkt het mogelijk de kosten zodanig te beperken dat uitgave

vervolg kolom 1 volgende pagina.

van het tijdschrift en in het aantal pagina's dat jaarlijks verschijnt.
Het bestuur van het genootschap stelt er dan ook prijs op bij deze gelegenheid en op deze plaats de hoofdredacteur en de redactiecommissies, die sedert 1973 in functie zijn geweest, te danken voor hun onverdroten ijveren voor een zeer lezenswaardig tijdschrift.

De voorzitter van het NERG,
dr. M. Jeuken.

Vervolg kolom 2 vorige pagina.

mogelijk blijft. Ook vervalt de noodzaak om de artikelen na te zien op zetfouten. Alle correctiewerk wordt door de auteur gedaan. Redactionele veranderingen zijn er zelden. De artikelen worden gedrukt zoals de auteur deze instuurt.

Het eerste feestelijke nummer is uitgegeven bij het 10 jarig bestaan van het genootschap in 1930. Het bevat felicitaties aan het genootschap door de Minister van Waterstaat, de voorzitter van de Wis- en Natuurkunde afdeling van de Kon. Ac. v. Wetenschappen, van de dir. gen. der PTT, van de pres. de L'union Radio Scientifique internationale, de dir. van het Kon. Ned. Meteorologisch Instituut, de Chef van de Radiodienst der Marine, de inspecteur der kust en scheepsradiotelegrafie, de commandant van het regiment genietroepen en van Dr. A.F. Philips. Dan volgen artikelen van Prof.ir. Cl. v.d. Bilt, Prof.dr. G. Holst en Dr. Balth. v.d. Pol en A. Dubois en voorts 62 uittreksels van verschenen artikelen.
Uit deze opsomming blijkt het verschil tussen de vereniging toen en nu. In die tijd is er door het genootschap pionierswerk verricht. Wij geloven niet dat zoveel prominenten ons nu, na 65 jaar volhouden, nog zo uitvoerig zouden feliciteren. Herdrukken van uittreksels van artikelen lijkt ons op dit ogenblik niet meer zinvol. In plaats daarvan vindt U een herdruk van het artikel van W.F. Einthoven, band II, pag. 38-45 over "De snaargalvanometer en de storingsvrijheid van de ontvangst bij de draadloze telegrafie".
Het herdrukken van een oud artikel in een feestelijk nummer is gebruikelijk. Er is gezocht naar een niet te lang artikel dat zich daartoe in het bijzonder leent. Uit de paar artikelen uit de eerste jaren die in aanmerking kwamen is een keus gemaakt. Er is daarbij ook overleg gepleegd met een van onze leden. Hij schrijft:

a) het is kort en zal door een te grote lengte de potentiële lezer niet afschrikken.
b) Het behandelt een fundamenteel probleem op het terrein van de signaaltheorie. Het artikel laat zien dat ook met het destijds nog zeer bescheiden theoretisch instrumentarium, toch interessante conclusies mogelijk waren met betrekking tot ontwerpaspecten van elektronische apparatuur. Anderzijds blijkt ook dat het ontbreken van inzicht in de informatietheoretische grondslagen en het ontbreken van een adequaat begrippenstelsel de behandeling van zo'n signaaltheoretisch probleem heel wat moeilijker maakte dan thans het geval zou zijn.
c) Het artikel is een aardige illustratie van de langdurige competitie tussen zuiver elektronische en elektromechanische middelen die kenmerkend is geweest voor de eerste decennia van de elektronische techniek. De competitie heeft zich, toen in de radiocommunicatie het pleit al beslecht was ten gunste van de zuivere elektronische aanpak, herhaald in de begintijd van de televisietechniek, tot diep in de dertiger jaren.
d) Herplaatsing van het artikel is een passend eerbewijs aan een beroemd landgenoot, die zeer belangrijke bijdragen heeft geleverd aan de bloei van de experimentele natuurkunde.

Naast de herdruk van dit artikel uit het begin van de jaren twintig, publiceren we artikelen van drie van onze ereleden, speciaal voor dit jubileumnummer geschreven. Over de inhoud ervan is tevoren overleg geweest.
Voorts vindt U een artikel van Ir. P. v.d. Wurf. Dit artikel werd ons enige tijd geleden ter publicatie aangeboden, en past naar de mening van de redactiecommissie uitstekend in een jubileumnummer.
Tenslotte zijn er 14 pagina's foto's opgenomen. Zomaar de foto's die beschikbaar waren. Ze zijn een beetje gegroepeerd. Op de linker pagina's pasfoto's, rechts de bijbehorende namen en een paar andere foto's. De pasfoto's zijn in drie groepen ondergebracht. Eerst een aantal foto's uit het jubileumnummer van 1930, daarna een aantal beschikbare foto's van hoogleraren in de elektrotechniek. En vervolgens een paar foto's van functionarissen van de vereniging, en van enkele sprekers van voor de 298e vergadering. Na 1980 is aan de leden gevraagd pasfoto's in te sturen ter publicatie naast de convocaten van de werkvergaderingen. Deze zijn allen opgenomen in de volgorde van de nummers van de werkvergaderingen. Door een vergissing is echter de pasfoto van Ing. A.C.M. Rienirie op pagina 266 terecht gekomen, in plaats van als laatste foto van de rij sprekers van de 306e werkvergadering.
Wij menen dat het bekijken van deze foto's voor veel leden een genoegen is, zo niet nu, dan misschien toch later.

De hoofdredacteur,
Ir. M. Steffelaar.



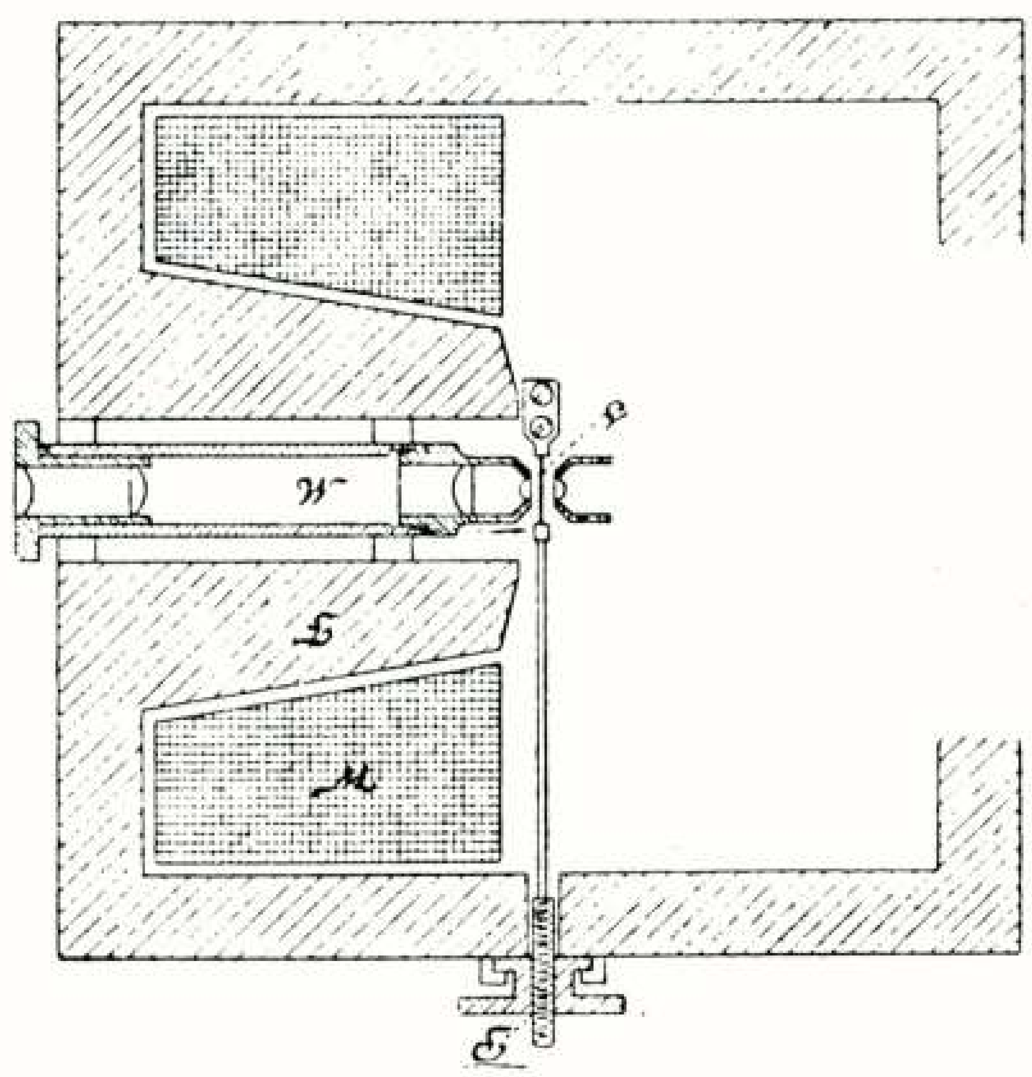
Ir. W. F. EINTHOVEN

De snaargalvanometer en de storingsvrijheid van de ontvangst bij de draadlooze telegrafie.

DOOR

W. F. EINTHOVEN

Onder de middelen, die kunnen worden aangewend, om de storingsvrijheid van de ontvangst bij het draadlooze verkeer te bevorderen, moet, behalve een doelmatige keuze van het terrein en een versterking van de richtkracht der ontvanginstallatie, wel in de eerste plaats genoemd worden de verkleining van het decrement van den ontvang-kring. Terwijl het decrement van een



Figuur 1

electrischen kring bezwaarlijk kleiner dan 0,01 kan worden gemaakt, is men instaat om deze waarde in den galvanometer zoo veel te verkleinen als praktisch wenschelijk mag heeten. Men kan het decrement in den galvanometer nauwkeurig regelen van een bedrag dat kleiner is dan praktisch nuttig zou zijn tot een bedrag, dat ons instaat stelt om 600 woorden en meer per min. op te nemen.

Een dunne, geleidend gemaakte kwartsdraad S, zie fig. 1, is in een magnetisch veld tusschen 2 mikroskopen M als een snaar

uitgespannen. Door de lengte der snaar juist te kiezen en haar spanning te regelen, kan men haar een zoodanige eigen periode geven dat zij, in trilling gebracht, resoneeert met de golven van de hooge frequenties die in draadlooze telegrafie gebruikelijk zijn. Zoo kan bijv. het eigen trillingsgetal van een snaar van 7 m.M. lengte tot 40 000 en meer worden opgevoerd.

Door de snaar in een vacuum te plaatsen heft men de demping op, die anders de lucht op haar beweging zou uitoefenen, terwijl de electromagnetische demping beschikbaar blijft en aan den waarnemer het voordeel biedt, dat zij gemakkelijk en naùwkeurig regelbaar is.

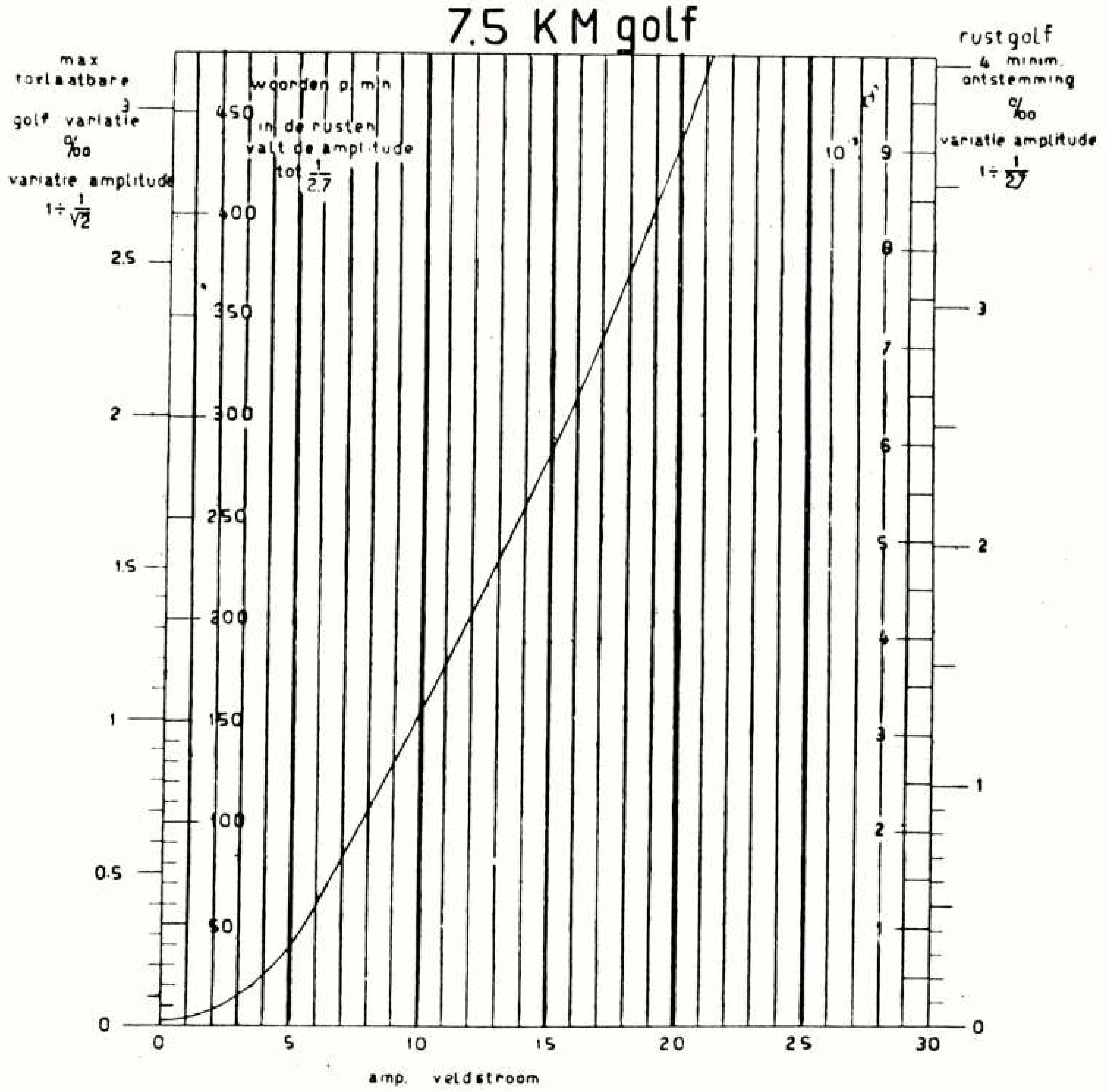
Tot welke grens mag bij de praktische ontvangst van seinen de demping worden verminderd?

Ter beantwoording dezer vraag nemen wij eerst aan dat de zender van welke de seinen moeten worden ontvangen, ideaal is, d.w.z. dat hij een volkomen constante golf uitzendt en dat er een te verwaarloozen tijd verstrijkt, om bij elk sein zoowel den antenne stroom van o tot zijn maximum op te voeren, als om hem van zijn maximum weer tot o te reduceeren. Wij voeren verder de waarde τ in, dit is de tijd die na het ophouden van het sein moet verstrijken, om de amplitude der trillende snaar te verminderen in de verhouding van 1 tot $\frac{1}{e}$. Om leesbaar seinschrift te verkrijgen is het noodig, dat τ niet te groot is in verhouding tot den tijd die tusschen twee seinteekens, dus ook voor den duur van een punt, beschikbaar is. De proeven hebben uitgemaakt dat die verhouding gelijk aan de eenheid mag worden genomen. Wij krijgen dan een toestand, dat in de pauze tusschen twee punten of strepen de amplitude der snaartrillingen van 1 tot $\frac{1}{e}$ afneemt. De toelaatbare seinsnelheden zijn omgekeerd evenredig aan de waarden van τ

In fig. 2 hebben wij volgens dezen grondslag voor een golf van 7,5 K.M. in een coördinatenstelsel de waarden van de δ en van de seinsnelheid afgezet als functies van den veldmagneetstroom in een der door ons vervaardigde modellen.

Indien de golf die uitgezonden wordt niet volkomen constant is, kunnen wij aannemen, dat de snaar steeds afgestemd is op een frequentie, die het midden houdt tusschen de beide uiterste variaties. Indien de zendgolf juist haar gemiddelde frequentie heeft en de snaar dus nauwkeurig daarop resonneert, zal de amplitude der snaartrillingen een maximum bereiken. Schommelt de zendgolf naar een harer uiterste variaties, dan wordt de amplitude der snaartrillingen een minimum. Indien wij aannemen, dat gedurende een

sein schommelingen der snaaramplitude mogen voorkomen in de verhouding van 1 tot $\frac{1}{\sqrt{2}}$ om voor de leesbaarheid van het schrift nog juist niet hinderlijk te zijn, kan uit het decrement δ en de golflengte λ de toelaatbare variatie in de lengte van de zendgolf worden berekend. De uitkomsten dezer berekening vindt men in de eerste verticale kolom van figuur 2 vermeld.



Figuur 2

Wij denken ons nu een machinezender met onveranderlijke taktgeving en volkomen constante golf. In de pauze tusschen 2 seinteekens draait de machine door en bij het begin van de nieuwe streep of punt vindt de nieuwe zendgolf de zwak trillende snaar in phase met haar eigen golfbeweging. Verandert in de pauze de

frequentie der zendgolf een weinig dan zal zij de snaar niet meer in phase aantreffen, en schommelt zij tot het boven genoemde toelaatbare maximum, dan kan in den tijd τ het phaseverschil tot 1 radiaal dus ongeveer 60^0 toenemen.

Wordt de machinezender door een boog of een triode vervangen dan verandert de toestand. Het phaseverschil, dat tusschen de zendgolf en de snaartrilling telkens bij het begin van een nieuwe streep of punt aanwezig zal zijn, wordt dan een toevalligheidsquestie. 't Ongunstigste geval treedt in bij volkomen resonnantie en 180^0 phaseverschuiving omdat dan de trillende snaar door het nieuwe sein eerst tot stilstand moet worden gebracht, voordat zij met de veranderde phase kan gaan meetrillen. Vermoedelijk zal bij de ontvangst van een boog of een triode zender de waarde van τ daarom iets kleiner moeten worden genomen. In de laatste kolom van figuur 2 is aangegeven, tot welk minimum bedrag men de golflengten van de rust- en werkgolf dezer zenders mag laten verschillen, zonder dat de opgevangen teekens door een te gering verschil in amplitude der snaartrilling moeilijk leesbaar worden. Indien men de gegevens van figuur 2, die voor een golf van 7,5 k. m. is berekend op een andere golflengte wenscht toe te passen, moeten de waarden van de verticale kolommen 1, 3 en 4 evenredig aan de golflengte worden gewijzigd, terwijl de waarden van kolom 2, die door τ worden bepaald onveranderd blijven.

Het geringe decrement van den snaargalvanometer biedt bij de ontvangst meer voordeelen aan dan de verkleining van decrementen die verkregen kan worden door dempingsreductie met behulp van een electronenbuis, omdat men met de snaar een zuivere resonnantie kromme schrijven kan en dit bij de genoemde dempingsreductie niet mogelijk is.

In het algemeen onderscheiden wij 3 oorzaken van de onzuiverheid eener resonnantie kromme

1e δ kan afhankelijk zijn van de amplitude;

2e δ kan door de frequentie worden beïnvloed;

3e de frequentie kan door een verandering der amplitude worden gewijzigd.

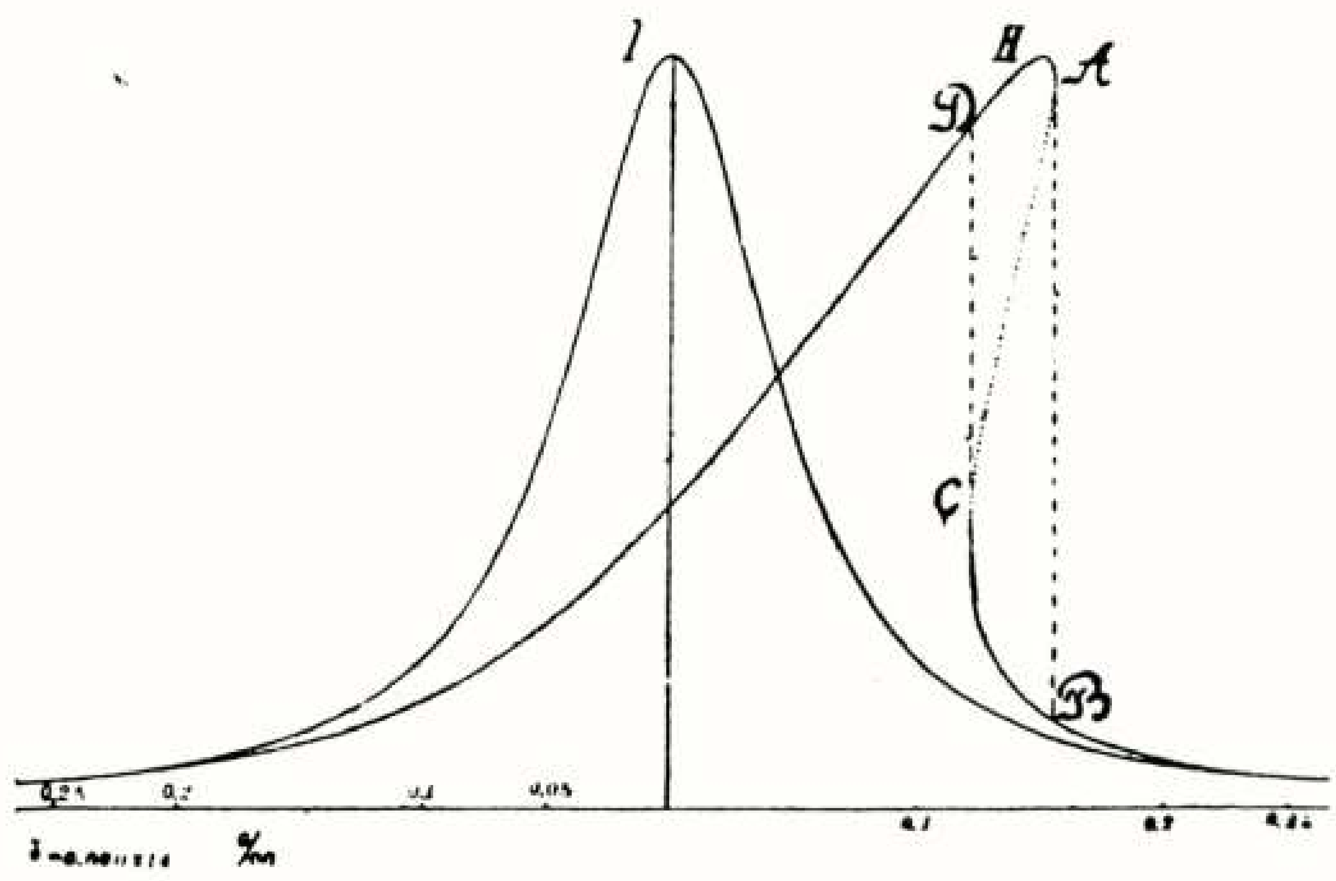
De eerste oorzaak doet zich steeds gelden bij de dempingsreductie door een electronen buis, daar de karakteristiek dezer laatste niet lineair is.

De tweede oorzaak moet bij alle electrische kringen in rekening worden gebracht. Zij is vooral van grooten invloed bij de dempingsreductie met een electronen buis, daar deze de demping met een constant bedrag vermindert. De verandering van de overblijvende

δ met λ wordt hierdoor grooter en aldus wordt de resonnantie kromme in sterke mate vervormd.

De derde oorzaak komt in electrische kringen alleen voor, als zij ijzer bevatten, en in den galvanometer kan zij onder bepaalde omstandigheden storend werken.

In figuur 3 geeft II de vervormde resonnantie kromme weer, die met een korte, weinig gespannen snaar kan worden verkregen, terwijl I ter vergelijking een zuivere resonnantie-kromme afbeeldt. De x-as geeft de ontstemming in duizendsten aan, de y-as het kwadraat der snaar amplituden. Als de amplitude grooter wordt, wordt de snaar in haar eindstanden meer gespannen, waardoor haar eigen frequentie wordt vergroot. Dit heeft ten gevolge, dat zich bij het opnemen der resonantiekromme eigenaardige verschijnselen voordoen, die wij met den naam „sprongpunt" willen



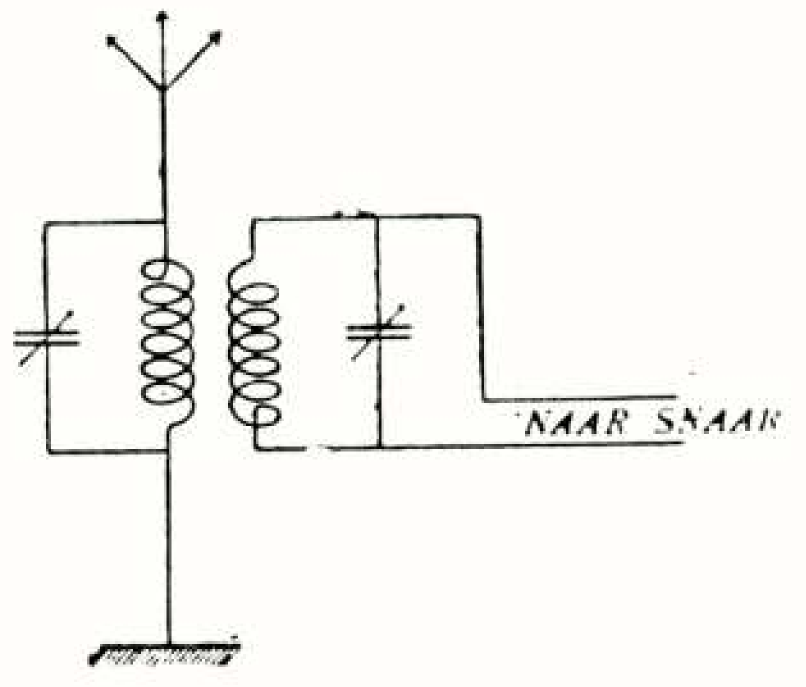
Figuur 3

aangeven. Wanneer men de kromme opneemt door de reeks van waarnemingen links te beginnen en geleidelijk in rechtsche richting voort te zetten zal op een gegeven oogenblik de amplitude met een sprong worden verkleind, hetgeen in de figuur aangegeven wordt door het kwadraat der amplituden loodrecht van A tot B te laten dalen. Gaat men met de opnamen in rechtsche richting door, dan wordt verder een regelmatige, geleidelijke vermindering der amplitude verkregen. Begint men met de opname rechts en zet men haar in linksche richting voort, dan wordt op een gegeven oogenblik de snaaramplitude plotseling vergroot en springt de kromme, die de kwadraten der amplitude aangeeft, loodrecht van C· naar D. Bij verdere opnamen in linksche richting wordt weder een regelmatige, geleidelijk dalende lijn verkregen. De asymetrie van het verschijnsel komt in de figuur duidelijk uit. Tevens ziet

men gemakkelijk, dat het oppervlak der vervormde kromme bij gelijke τ grooter is den dat der zuivere. Dit oppervlak is maatgevend voor de storingsvrijheid.

De moeilijkheden van het sprong punt worden vermindert en zelfs volkomen overwonnen wanneer men van lange, dunne strakgespannen snaren gebruik maakt, die men met slechts kleine amplitude laat trillen. Hoe dunner de snaar is, hoe kleiner de amplitude van haar trilling kan genomen worden zonder het schrift onleesbaar te maken.

Bij het werk met den galvanometer heeft zich nog een andere moeilijkheid voorgedaan, die wij eerst kort geleden doelmatig hebben kunnen oplossen. Wanneer aan de snaar een gering decrement werd gegeven, trilde zij in meer dan één vlak, waarbij haar afstemming in het eene trillingsvlak met die in het andere verschilde. De resonnantie kromme vertoont den dubbeltoppen en



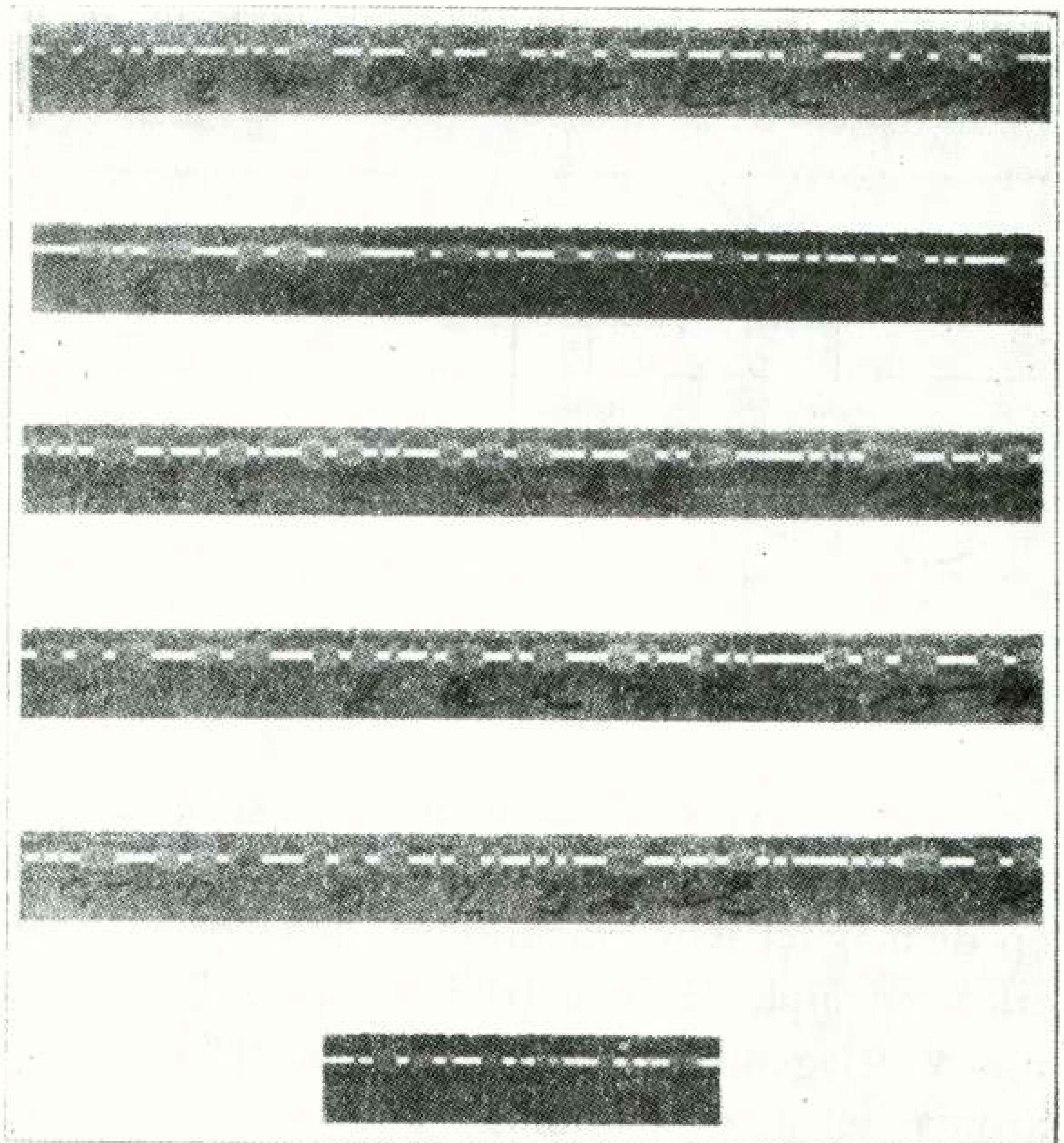
Figuur 4

heeft overeenkomst met de krommen van een gekoppelden electrischen kring. Staat een der trillingsvlakken van de snaar niet loodrecht op de magnetische krachtlijnen, dan worden haar trillingen minder sterk gedempt. Is een trillingsvlak zuiver in de richting der krachtlijnen gelegen, dan zullen de snaartrillingen in 't geheel geen electromagnetische demping ondervinden. Het spoortje demping, dan in dat vlak overblijft en dat door een onvolkomen vacuum er de uitwendige wrijving der snaar zelf wordt veroorzaakt, is zoo gering, dat de snaar lang blijft natrillen waardoor het seinschrift onleesbaar kan worden.

De boven beschreven afwijking van den zuivere resonnantie kromme veroorzaken een vermindering van de storingsvrijheid. Of dit met elke afwijking der resonantie kromme in 't algemeen 't geval is, wanneer men uitgaat van een gegeven uittrillingstijd laten wij echter in 't midden.

Wanneer wij de verschillende zendertypen met elkaar vergelijken

van het standpunt, dat de seinen met den galv. moeten worden opgenomen dan moeten wij besluiten, dat de machinezender minder gunstig is dan de boog- en de triodezender. Met de hoogfrequentie machine heeft men groote moeite om de golflengte constant te houden en bij snel seinschrift moet τ van de snaar grooter genomen worden dan bij de andere zendertypen omdat er gewoonlijk met het aanzwellen en uittrillen van den antennestroom een belangrijke tijd verloren gaat, die tevens het sneller seinen onmogelijk maakt. Daarentegen zijn de boog- en triodezender beide instaat om een zeer constante golf uit te zenden en door middel van 't seinen met golf verandering is snel seinschrift mogelijk tot bijv. 600 woorden in de min. Er is dan een te verwaarloozen tijd



Figuur 5

noodig voor de verandering der golf. Bij de triode-zender moet er echter op gelet worden, dat wanneer men een gelijk gerichten wisselstroom voor den plaatstroom gebruikt, de pulsaties in de stroomsterkte dikwijls tot golfvariaties aanleiding geven. Ook de gloeidraad veroorzaakt golfvariaties wanneer hij op een wisselstroom brandt. Maar deze schommelingen in de lengte der uitgezonden golf kunnen door toepassing van doelmatige middelen wel worden onderdrukt.

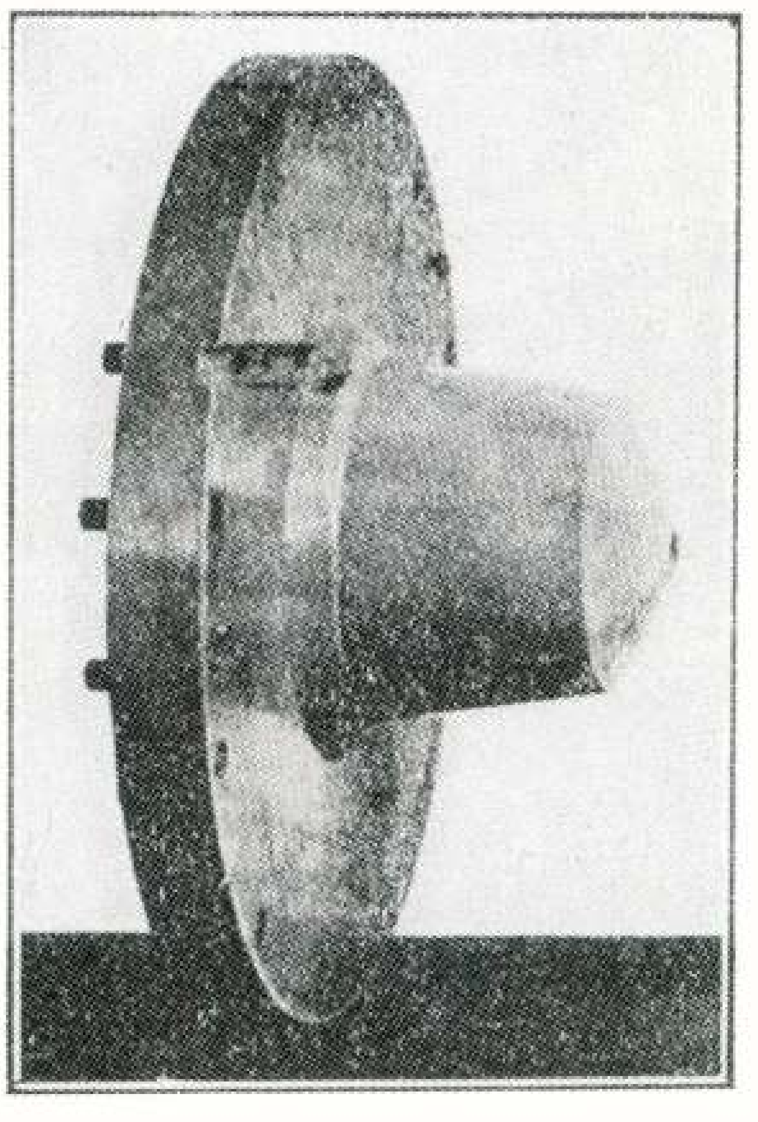
Figuur 4 geeft aan de wijze waarop de snaar en de antenne aan elkaar geschakeld zijn. Het spreekt van zelf dat daarbij ook versterkers kunnen worden ingevoegd.



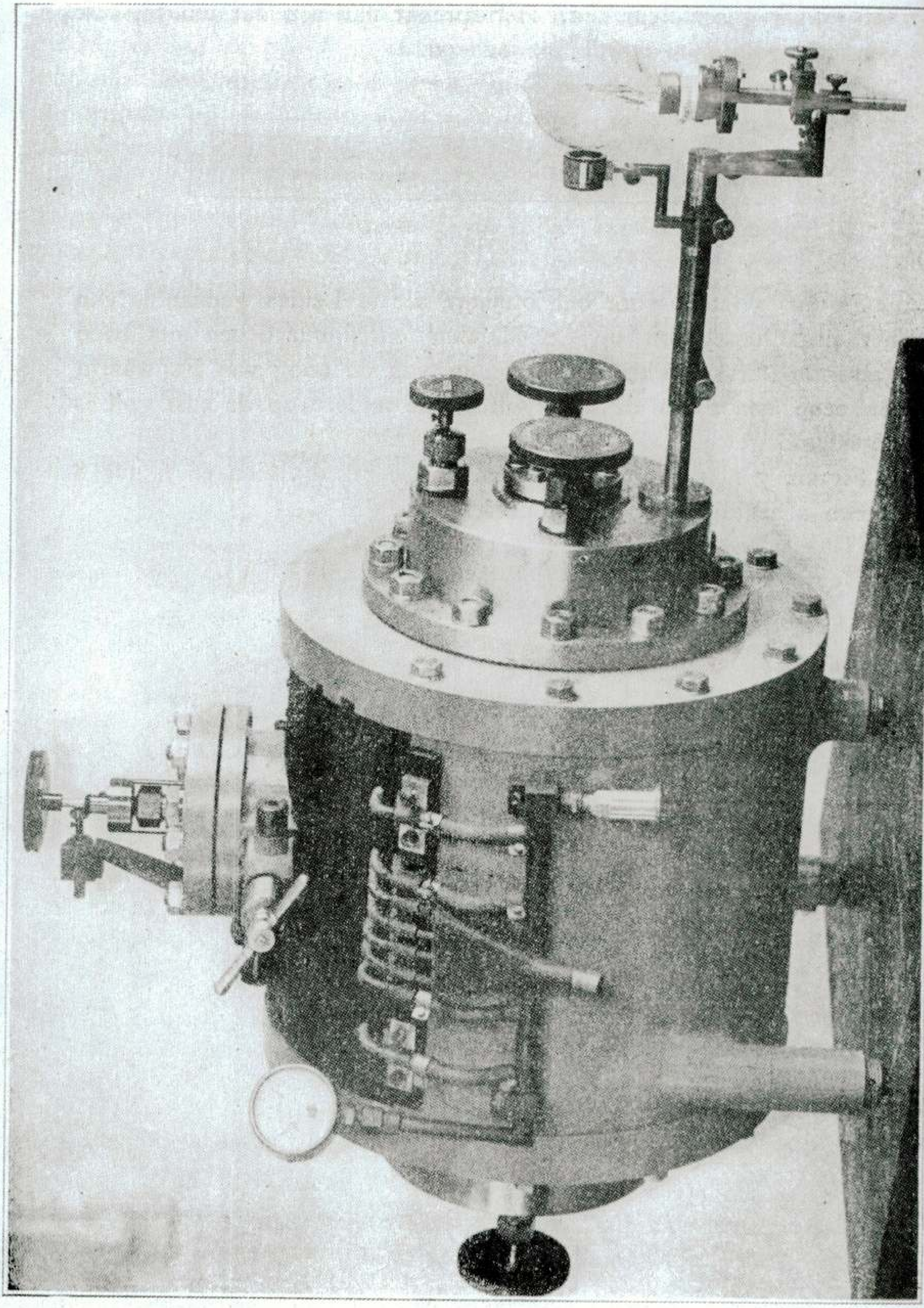
Figuur 6

Figuur 5 stelt voor een opname die te Leiden gedaan is van het draadloosstation op de Malabar en figuur 6 een met twee galvanometers gelijktijdige opname van de boog van Fl. waarin de ééne snaar op de werkgolf en de andere op de rust golf is afgestemd geweest.

Figuur 7 laat een magneetkern van den galv. zien en figuur 8 is een afbeelding van het geheelen toestel.



Figuur 7



SIR AMBROSE FLEMING'S KRUISTOCHT TEGEN DE FREQUENTIE-BANDTHEORIE
EEN ACHTERHOEDE-GEVECHT UIT DE JAREN DERTIG

Ir. P. van der Wurf
Docent IHBO te Eindhoven

Sir Ambrose Fleming's crusade against the Wave Band Theory, a rear-guard action in the thirties. In 1930, fifteen years after the introduction of single side-band modulation, Sir Ambrose Fleming fought a lonely crusade against the wave band theory in the columns of the English scientific magazine NATURE.

EEN OPMERKELIJK ARTIKEL UIT DE OUDE DOOS

Bladerend door oude jaargangen van het tijdschrift NATURE, trof ik in het nummer van 18 januari 1930 een opmerkelijke bijdrage aan van de hand van Sir Ambrose Fleming. In dat artikel verzet Fleming zich tegen de opvatting -die in zijn tijd meer en meer geaccepteerd werd- dat bij modulatie van een draaggolf zogenaamde 'zijbanden' zouden ontstaan.

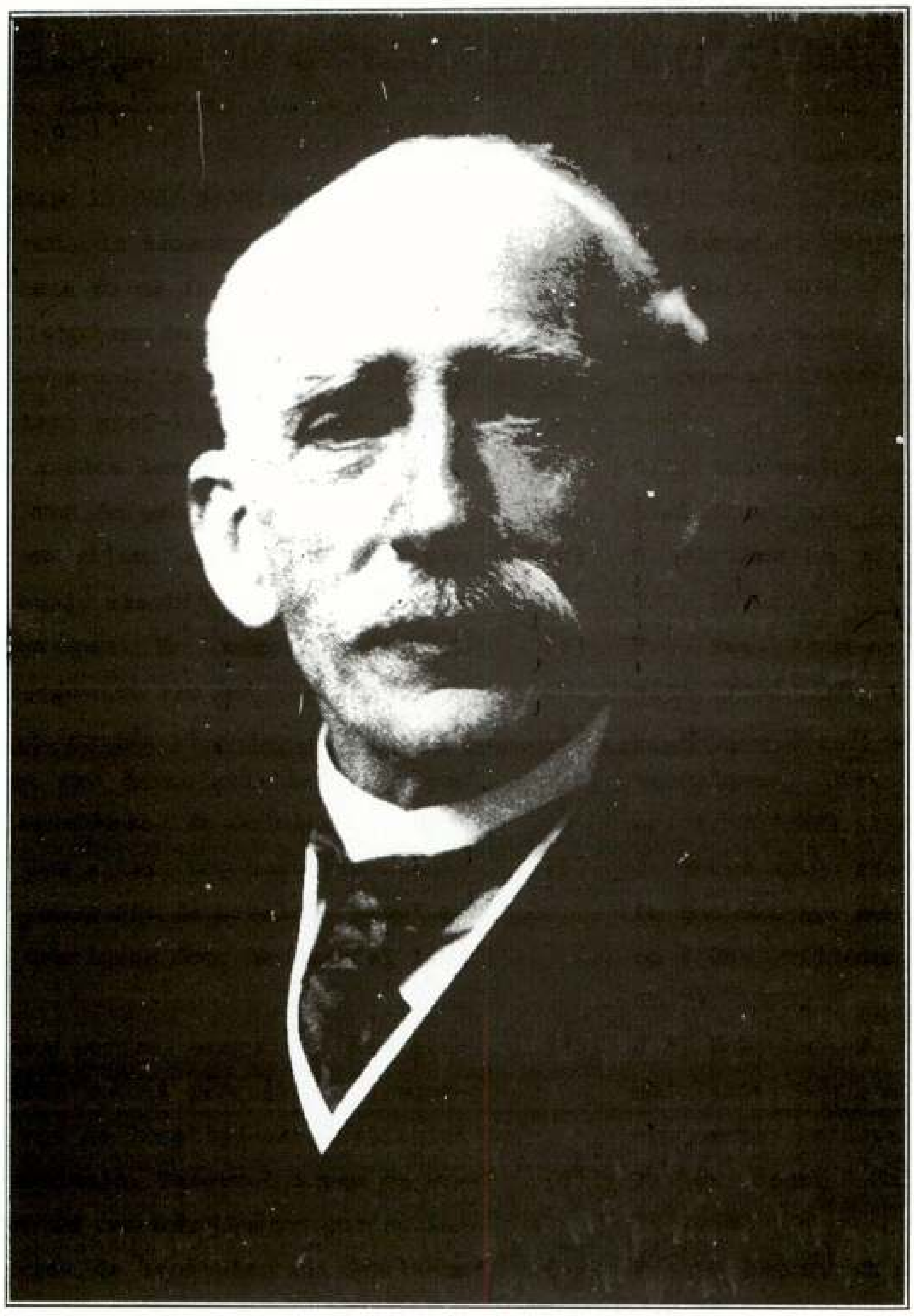
Het artikel is zo opmerkelijk, omdat de wetenschappelijke literatuur ons zelden een blik gunt op een 'miskleun' van deze orde, bovendien begaan door iemand met een gevestigde reputatie als wetenschapsman en als radiopionier. Over het algemeen beschermt de redactie van een wetenschappelijk tijdschrift een auteur tegen het publiceren van al te grote blunders. Vooral het systeem van 'reviewers', vakgenoten die gevraagd worden een ingezonden artikel te beoordelen voordat de redactie tot publikatie overgaat, behoedt auteur en redactie voor het publiceren van foutieve denkbeelden en conclusies. Deze methode is bij het onderhavige artikel van Fleming niet toegepast, of heeft niet gewerkt.

Het uit de oude doos halen van een artikel, waarvan de auteur later waarschijnlijk gewenst heeft het nooit geschreven te hebben, kan natuurlijk niet ten doel hebben ons, een halve eeuw later, nog eens vrolijk te maken over zijn misvattingen. Interessant is het echter te lezen hoe Fleming en zijn opponenten omgingen met een nieuw concept, waar zij nog onwennig tegenover stonden. Interessant is ook de vraag of de vanzelfsprekendheid waarmee wij wiskundige resultaten van toepassing verklaren op natuurkundige verschijnselen bij onze studenten niet hetzelfde soort problemen oproept als waar Fleming mee te kampen heeft gehad. Daarom volgt hier, voorafgegaan door een korte biografie, een volledige weergave van het artikel dat Fleming publiceerde onder de titel: „De Frequentie-bandtheorie van de Draadloze Transmissie". Omdat Fleming's wiskundige notaties nogal afwijken van wat tegenwoordig gebruikelijk is bij de beschrijving van amplitude-modulatie, laat ik Fleming's artikel volgen door een korte toelichting op zijn notatie. Daarna geef ik een uitgebreide samenvatting van de discussie in de kolommen van NATURE, die door het verschijnen van Fleming's opmerkelijke bijdrage werd uitgelokt. Een enkele keer heb ik deze samenvatting voorzien van wat eigen commentaar.

WIE WAS SIR AMBROSE FLEMING ?

Fleming had, toen hij zijn beschouwing over de frequentie-bandtheorie schreef, de alleszins respectabele leeftijd van 81 jaar bereikt. Zijn ongelofelijk actieve leven in dienst van de wetenschap omvat de tijd van Maxwell tot de komst van de televisie. Zijn wetenschappelijke graad behaalde hij in 1870 en als jong wetenschapper werkte hij bij James Clark Maxwell. In 1881 werd hij hoogleraar in de wiskunde, maar verliet deze post al spoedig voor een functie bij de Edison Electric Light Company. In 1884 werd hij benoemd tot hoogleraar in de elektrotechniek; hij heeft die functie ruim veertig jaar bekleed. Fleming werkte samen met Marconi bij veel van diens experimenten en hielp bij het ontwerpen van de zender, waarmee Marconi als eerste de Atlantische Oceaan overbrugde. Grote bekendheid heeft Fleming gekregen als uitvinder van de diode, de eerste elektronische gelijkrichter, die een uitstekende vervanger bleek te zijn voor de gebrekkige detectoren uit de tijd van de radio-telegrafie.

Fleming was een uitsteken docent (de bekende 'rechterhandregel' uit de elektrotechniek wordt aan hem toegeschreven) en een succesvol voordrachtskunstenaar bij lezingen over populair wetenschappelijke onderwerpen. Aan erkenning en eerbetoon heeft het hem niet ontbroken. In 1910 ontving hij de Hughes-medaille van de Royal Society, waar hij al vanaf 1892 lid van was. De Faraday-medaille van de IEE werd hem in 1928



Dr. J. A. Fleming F. R. S.

toegekend en de Gouden Medaille van de IRE in 1935. Zijn laatste voordracht hield hij in 1939, kort voor zijn dood en 66 jaar nadat hij als eerste een voordracht voor de Royal Society had gehouden. Hij had toen een honderdtal publikaties op zijn naam staan.

EEN WISKUNDIGE FICTIE

„Een wiskundige fictie". Dat was Fleming's opvatting over de zogenaamde 'zijbanden', die volgens „een zekere theorie" ontstaan bij de modulatie van een draaggolf. Hieronder volgt een vertaling van zijn artikel uit 1930:

„In de geschiedenis van de wetenschap treffen we talloze voorbeelden aan van theorieën of verklaringen, die alom geaccepteerd en toegepast werden, niet omdat bewezen kon worden dat ze juist waren, maar omdat ze een eenvoudige, gemakkelijk te begrijpen en aannemelijke verklaring verschaften voor een bepaald wetenschappelijk verschijnsel. De meeste mensen zijn niet in staat ingewikkelde verschijnselen te doorzien en aanvaarden dankbaar en zonder bezwaar een simpele verklaring waarmee ingewikkeldheden omzeild worden.

De natuur leent zich echter zelden tot een gemakkelijk te begrijpen verklaring van haar gedrag en het is dus niet zeker dat het mechanisme, dat ons denken aanneemt ter verklaring van een bepaald verschijnsel, zich ook in de werkelijkheid afspeelt. Zo is er een wijd verspreid geloof in een zekere theorie voor draadloze telefonie, alsmede voor televisie, die zegt dat het voor een goede gang van zaken nodig is bij allerlei bewerkingen rekening te houden met de breedte van de 'frequentieband' van signalen. Hoewel dit gezichtspunt verregaand geaccepteerd is, zijn er goede gronden aan te wijzen om te denken dat het meer wiskundige fictie is, dan dat het te maken heeft met de fysische werkelijkheid.

Laten we eens nagaan hoe men op het idee gekomen is. Bij elke telefonie-zender wordt een elektro-magnetische straling opgewekt van een bepaalde, constante frequentie. Bijvoorbeeld, het station 2LO London zendt uit op 842 kHz. Dit betekent dat 842.000 trillingen per seconde worden uitgezonden. Ieder station heeft een bepaalde frequentie toegewezen gekregen en het is niet toegestaan daarvan af te wijken. Het is als een vuurtoren, die lichtstralen van één bepaalde elementaire kleur uitzendt, of een orgel dat één pure toon laat horen. Bij de meeste radiozenders ligt deze frequentie ergens tussen één miljoen en een half miljoen trillingen per seconde, hoewel er lange-golfstations zijn, zoals Daventry, met een frequentie van 193 kHz.

Als we spreken of muziek maken voor een microfoon in een omroepstudio, dan beïnvloedt dat de grootte of amplitude van de uitgezonden trilling, die de draaggolf wordt genoemd, maar er verandert niets in het aantal trillingen dat per seconde wordt uitgezonden. Het is als het veranderen van de hoogte van de golven op zee, zonder de afstand van golftop tot golftop, de golflengte, te veranderen.

Veronderstel dat het radiostation een draaggolf uitzendt met een frequentie n en neem aan dat $p = 2\pi n$. We kunnen dan de amplitude a van deze golf op elk tijdstip t uitdrukken met de functie $a = A \sin pt$, waarin A de maximale amplitude voorstelt. Als we nu de draaggolf moduleren met een lage frequentie, die het gevolg is van een muziektoon met frequentie m en als geldt $2\pi m = q$, dan kunnen we de gemoduleerde trilling beschrijven met de functie:

$$a = A \cos qt \sin pt.$$

Volgens een welbekend theorema uit de goniometrie is dit gelijk aan

$$\tfrac{1}{2} A \quad \sin(p + q)t + \sin(p - q)t$$

en derhalve mag verondersteld worden dat de gemoduleerde trilling hetzelfde is als twee, gelijktijdig optredende draaggolven met frequenties n+m, respectievelijk n-m.

Als de modulerende toon of akoestische trilling willekeurig van vorm is, dan kan deze -krachtens het theorema van Fourier- worden ontbonden in de som van een aantal enkelvoudig harmonische termen van de vorm cos qt en van elk van deze termen zou dan gesteld mogen worden dat deze overeenkomt met een paar gelijktijdig optredende draaggolven. De modulatie van een draaggolf van één bepaalde frequentie met een willekeurig signaal zou dus nagebootst kunnen worden met het uitzenden van een heel spectrum, bestaande uit een groot aantal, gelijktijdig uitgezonden draaggolven in een frequentiegebied dat zich uitstrekt van n+N tot n-N, waarin n de oorspronkelijke draaggolffrequentie is en N de hoogste akoestische frequentie die optreedt. De breedte van de frequentieband is dan gelijk aan 2N. Dit is echter pure wiskunde en deze band met een groot aantal frequenties bestaat in werkelijkheid niet; er is slechts één draaggolf met één enkele frequentie, die regelmatig of onregelmatig in amplitude gemoduleerd is.

Als de geluidsgolven die de microfoon in de radiostudio oppikt een willekeurige vorm hebben,

zoals het geval zal zijn bij muziek of spraak, dan kan -krachtens deze wiskundige stelling- de zeer onregelmatige fluctuatie van de draaggolf-amplitude nagebootst worden door de zender gelijktijdig een enorm aantal draaggolven van verschillende frequenties te laten uitzenden. De uitgezonden frequenties liggen dan tussen bepaalde grenzen, die de zogenaamde 'breedte van de frequentieband' bepalen.

Dit is een wiskundige kunstgreep van hetzelfde soort waarmee een enkele kracht of snelheid in gedachten ontbonden kan worden in twee of meer componenten. Wanneer we bijvoorbeeld een bal langs een hellend vlak naar beneden zien rollen en willen weten hoe ver deze zal rollen in één seconde, dan kunnen we de zwaartekracht op de bal ontbinden in twee componenten, één langs het vlak en één loodrecht daarop. Deze splitsing is slechts denkbeeldig en dient alleen maar om de oplossing van het probleem te vergemakkelijken; de werkelijke kracht is één enkele, verticaal werkende kracht.

Een dergelijke redenering geldt ook voor de radio-telefonie. Wat in feite gebeurt is dat de draaggolf, die een constante frequentie heeft, regelmatig of onregelmatig in amplitude varieert. Het grote aantal golflengtes is er helemaal niet; er zijn geen frequentiebanden.

De ontvanger absorbeert de in amplitude variërende straling en laat de gelijkstroom door de luidspreker variëren in overeenstemming met de amplitude-variaties van de draaggolf. Daartoe worden de draaggolf-trillingen gelijkgericht door de radiolamp in de detector. Hetzelfde vindt plaats bij de draadloze transmissie van televisie. De lichtstraal tast het voorwerp af en het gereflecteerde licht valt op een foto-elektrische cel en veroorzaakt daarin een gelijkstroom die evenredig is met de intensiteit van het gereflecteerde licht. De foto-elektrische stroom wordt gebruikt om de amplitude van een draaggolf te moduleren en de neonlamp aan de ontvangstzijde vertaalt deze amplitude-variaties van de draaggolf in het kathode-licht van de neonbuis. Noch in de draadloze telefonie, noch in de televisietechniek is er sprake van golflengtebanden. De enige vraag in de onderhavige kwestie is: Welk amplitudebereik is toelaatbaar?

Wat televisie betreft: critici van datgene wat thans bereikt is plegen te zeggen dat goede of bevredigende televisie niet bereikt kan worden binnen de beperkingen van de toegestane band van 9 kHz, terwijl er in werkelijkheid helemaal geen frequentieband bij betrokken is. De kwestie is slechts welke amplitude-veranderingen in een bepaalde draaggolf toelaatbaar zijn zonder overlast te veroorzaken. 't Is te vergelijken met de vraag: Hoe luid kun je tijdens een concert of in een theater met je buurman fluisteren zonder dat anderen last van je hebben? Mensen plegen inderdaad te fluisteren en als ze het niet te luid doen, dan wordt er geen notitie van genomen, maar als iemand zo slechtgemanierd is om te luid te praten, dan wordt hij snel tot de orde geroepen of buiten de deur gezet.

Het is niet eenvoudig om een grens aan te geven voor de toelaatbare golfamplitude. De grootte-orde bedraagt microvolts per meter en dat is niet eenvoudig te meten. Daar staat tegenover dat een golflengte eenvoudig kan worden vastgelegd in kHz of in meters en het is daarom dat de methode is geadopteerd om uitzendingen te beperken tot een denkbeeldige golflengteband, die echter niet bestaat. De definitie is volkomen mistig. Het is net zoiets als de welbekende definitie uit de metafysica van 'een blinde man die in een donkere kamer tast naar een zwarte kat die er niet is'. De veronderstelde frequentieband is er ook niet. Het enige wat er wel is, is een geleidelijke dan wel snelle verandering in de amplitude van de draaggolf. Het zal duidelijk zijn dat we om die reden vandaag of morgen onze wettelijke voorschriften voor de 'draadloze' zullen moeten wijzigen.

We hebben geen redenen om het uitgezonden signaal van onze omroepstations te beperken tot een denkbeeldige frequentieband met een breedte van 9 kHz of wat de voorgeschreven bandbreedte ook mag zijn. Daarentegen hebben we wel redenen om het amplitudebereik van de uitgezonden golven te beperken. We zullen eenvoudig toepasbare methoden moeten vinden om de maximale, nog toelaatbare amplitude van draaggolven te definiëren, als deze gemoduleerd worden, zowel voor radio-telefonie als voor allerlei andere toepassingen.

De gedachte zou kunnen ontstaan dat hier onnodig drukte wordt gemaakt over iets dat slechts ten doel heeft een verklaring te verschaffen, maar ervaringen op andere gebieden laten zien hoe vertragend officiële voorschriften kunnen werken op de vooruitgang. Denk bijvoorbeeld aan de manier waarop de ontwikkeling van mechanische tractie jarenlang last ondervonden heeft van belachelijke voorschriften, die de snelheid van voertuigen op de hoofdwegen aan banden legden. De enige beperkingen die opgelegd zouden moeten worden, zijn die welke absoluut noodzakelijk zijn in het belang van de veiligheid en het gemak van het publiek; al het andere werkt verstikkend en vertraagt vernieuwing en vooruitgang."

DE FORMULE VOOR AMPLITUDEMODULATIE

Over de paar formules, die Fleming gebruikte, valt het volgende op te merken. De grootheid die hij met a aanduidt, zouden wij liever de momentele waarde van het signaal noemen en aanduiden met u(t), waarmee we aangeven dat deze als functie van de tijd varieert. De benaming 'amplitude' reserveren we voor de grootste positieve waarde, die een sinus- of cosinusvormig signaal kan aannemen en duiden deze aan met $\hat{u}$ in plaats van met A, zoals Fleming deed. De formule voor de ongemoduleerde draaggolf wordt dan

$$u(t) = \hat{u} \sin pt. \qquad (1)$$

Kennelijk was Fleming niet bekend met de correcte wiskundige formulering van een in amplitude gemoduleerde draaggolf. Wij beschrijven deze met

$$u(t) = \hat{u}\,(1 + k \cos qt) \sin pt. \qquad (2)$$

Deze uitdrukking laat zien dat als het modulerende signaal cos qt wegvalt (wat betekent dat de tweede term tussen de haakjes gelijk wordt aan nul) er nog altijd een ongemoduleerde draaggolf $\hat{u}$ sin pt wordt uitgezonden. De factor k wordt de modulatiediepte genoemd. Deze geeft aan hoe sterk de modulatie is en hoe groter k is, hoe sterker de toon die door de luidspreker in de ontvanger wordt weergegeven.

Goniometrische uitwerking van (2) levert op:

$$u(t) = \hat{u} \sin pt + \tfrac{1}{2}k\hat{u} \sin(p+q)t + \tfrac{1}{2}k\hat{u} \sin(p-q)t. \qquad (3)$$

Van deze formule (3) valt af te lezen dat de oorspronkelijke, ongemoduleerde draaggolf $\hat{u}$. sin pt óók wordt uitgezonden, hetgeen met de fysische werkelijkheid overeenstemt. Deze term ontbreekt in de formule van Fleming.

INGEZONDEN BRIEVEN

Reacties op het artikel van Fleming konden natuurlijk niet uitblijven. Er werd een lawine van ingezonden brieven over zijn hoofd uitgestort, waarvan ik de inhoud enigszins beknopt zal weergeven.

Al direct in het nummer van 8 februari verschijnen twee brieven, van Prof.C.L.Fortesque en van Leslie H. Bedford. „Het artikel van Sir Ambrose Fleming geeft geen volledige weergave van de over het algemeen aanvaarde frequentiebandtheorie", schrijft Fortesque. Hij wijst vervolgens op de betekenis die deze theorie heeft voor het bepalen van het aantal radio-stations dat binnen een bepaald frequentiegebied kan opereren en voor het onderzoek naar de mogelijkheid van zenders voor draadloze televisie.

„De zogenaamde 'zijbanden' zijn meer dan een wiskundig concept", schrijft Fortesque en beschrijft hoe bij het opnemen van de resonantiecurve van een selectieve ontvanger met behulp van een gemoduleerde draaggolf 'bobbels' zichtbaar worden op de plaats van de zogenaamde zijbandfrequenties. Verder wijst hij er op dat de resonantiekring van een selectieve ontvanger nog enige tijd blijft dooroscilleren bij een plotselinge afname van de amplitude van de ontvangen draaggolf, hetgeen leidt tot een onvolmaakte geluidsweergave. Een ontvanger met een sterk gedempte kring volgt de amplitudevariaties onmiddellijk en geeft een meer getrouwe weergave. „Het oppikken van energie", vervolgt Fortesque „is bij zo'n sterk gedempte resonantiekring niet beperkt tot een smalle frequentieband, of anders gezegd -en dat doen de aanhangers van de zijbandtheorie- plotselinge veranderingen gaan gepaard met een zekere bandbreedte. Daarom hangt het al dan niet bestaan van zijbanden slechts af van het standpunt dat men wenst in te nemen. De uiteindelijke resultaten zijn hetzelfde, namelijk dat elke communicatieverbinding een aanzienlijk frequentie-bereik vraagt en hoe hoger de frequentie van de veranderingen in het signaal zijn, hoe groter het frequentie-bereik moet zijn waarover de ontvanger signaalenergie ontvangen kan. Omdat bij televisie de snelste veranderingen in amplitude optreden, zijn daarvoor de sterkst gedempte ontvangers nodig en dus ook de grootste frequentieband."

De andere inzender, Leslie H. Bedford, merkt op dat een misleidende conclusie uit Fleming's artikel getrokken zou kunnen worden, namelijk dat een signaal Σ A cos qt.sin pt (waarmee hij bedoelt een draaggolf die gemoduleerd is met de som van een groot aantal signalen, die elk van de vorm cos qt zijn, maar elk een andere frequentie q hebben. P.v.d.W.) ongeschonden door een bandfilter met een doorlaatband van $p-q_0$ tot $p+q_0$ geleid kan worden. Iedereen weet echter dat in feite alle termen waarvoor geldt $q > q_0$ onderdrukt worden. Ook de mogelijkheid om zijbanden uit te filteren en zogenaamde enkelzijband-uitzendingen zijn volgens Bedford gangbare argumenten voor het bestaan van frequentiebanden. Vervolgens gaat hij in op het probleem hoe een elektrisch netwerk reageert op een gemoduleerd signaal, dat hij

net als Fleming beschrijft als

$$a = A \cos qt . \sin pt.$$

„Er is met a als 'input' geen algemeen bekende oplossing voor de differentiaalvergelijking van het netwerk", schrijft hij „maar als we a mogen schrijven als $\frac{1}{2}A(\sin(p-q)t + \sin(p+q)t)$, dan krijgen we een bekende standaardvorm en is de differentiaalvergelijking eenvoudig oplosbaar."

Aan het slot van zijn brief merkt hij nog op dat de stelling van Fleming: „De hele vraag is welk amplitude-bereik toelaatbaar is" een amendement van node heeft: „De kwestie is bepaald niet hoeveel de amplitude mag variëren, maar met welke frequentie."

Sir Ambrose Fleming krijgt van de redactie de gelegenheid in hetzelfde nummer te reageren. „Het is duidelijk dat er sterk uiteenlopende opinies bestaan over de geldigheid van de geacepteerde frequentie-bandtheorie", schrijft hij. „Professor Fortesque en Mr. Bedford hebben hun visie zeer helder weergegeven. Mag ik van mijn kant de volgende beschouwing naar voren brengen?" In zijn reactie gaat hij in op het door Fortesque aangehaalde verschil in gedrag tussen selectieve en niet-selectieve ontvangers bij ontvangst van een gemoduleerde draaggolf.

Fleming ontkent dat een selectieve ontvanger de hoge tonen benadeelt ten opzichte van de lage tonen. „Als we goed hebben afgestemd voor lage tonen", schrijft hij „dan zijn we ook goed afgestemd voor hoge tonen. Als dat niet het geval was, dan moesten we voortdurend onze ontvanger afregelen op de toonhoogte van de muziek." Hij voert nog een argument tegen de frequentie-bandtheorie aan, dat op het volgende neerkomt. Modulatie met een toon van 4 kHz op de draaggolf van een lange-golfstation met een frequentie van zo'n 200 kHz zou volgens de theorie twee golven opleveren die maar liefst 4% in frequentie verschillen. Een goede, selectieve ontvanger kan bij zo'n groot frequentieverschil niet op beide golven tegelijk reageren.

„Als de theorie zegt dat een niet-zo-selectieve ontvanger de beste resultaten geeft, dan is dat in strijd met de ervaring. Bouwers van radio-ontvangers spannen zich juist in om ze zo selectief mogelijk te maken, vooral om achtergrondgeruis, dat het gevolg is van het gedrang van golven in de ether, te onderdrukken. Wat we nodig hebben om radio-uitzendingen te verbeteren, is een grotere selectiviteit in alle ontvangers en een betere stabiliteit van de draaggolffrequenties."

Hij besluit zijn reactie met: „Als het slechts een kwestie is van het formuleren van verklaringen, dan mag iedereen de resultaten beschouwen in het licht van zijn keuze en ook elke wiskundige listigheid gebruiken om zijn vergelijkingen op te lossen, maar als we toekomen aan de praktijk en de officiële reglementering, dan is het vanuit het oogpunt van experimentele vooruitgang een groot nadeel een reglement te hebben, zoals dat van een 9 kHz brede frequentieband, die slechts gebaseerd is op een theoretische interpretatie van bepaalde feiten, een interpretatie bovendien, die niet in overeenstemming schijnt te zijn met de praktische ervaring."

EEN BEETJE BOOS

Nu wordt professor Fortesque een beetje boos. In het nummer van 22 februari schrijft hij: „In zijn commentaar op mijn brief in NATURE van 8 februari doet Sir Ambrose Fleming enige categorische uitspraken. Ik denk dat hij geneigd zou zijn deze te wijzigen indien hij de kwestie wat meer aandacht zou schenken. Ik zou hem er aan willen herinneren dat een al te selectieve ontvanger wel degelijk faalt als het er om gaat de hoge tonen in de juiste proporties weer te geven. Dat is een welbekend effect dat door iedereen die beschikt over een goed afregelbare ontvanger kan worden waargenomen. Ik geef toe dat veel ontvangers voor praktisch gebruik onvoldoende selectief zijn, maar dat neemt niet weg dat een te selectieve ontvanger vervorming veroorzaakt omdat deze niet in staat is de zijbanden op te nemen, en dat bewijst bovendien niets met betrekking tot het bestaan van zijbanden. Ik wil daar nog aan toevoegen dat theorie, laboratoriumexperimenten en alle praktische ervaring overeenstemmen en bewijzen dat, in elke betekenis van het woord, de zijbanden werkelijk bestaan en dat officiële reglementen noodzakelijkerwijs gebaseerd zijn op overwegingen die uitgaan van zowel bandbreedte als amplitude."

ANDERE BIJDRAGEN AAN DE DISCUSSIE

In hetzelfde nummer van 22 februari nog reacties van vier anderen. Oliver Lodge schrijft: „Mijn vriend, Sir Ambrose Fleming, werpt een interessante vraag op in zijn bewonderenswaardig heldere artikel in NATURE van 18 januari. De vraag is niet gering: komt een wiskundig alternatief wel of niet steevast overeen met

een of andere fysische werkelijkheid? Ik ben geneigd te zeggen dat het dat wel doet."

Oliver Lodge geeft vervolgens een voorbeeld uit de theorie van het magnetisch veld en schrijft dan: „Ik denk dat een sinusvormige golf met een veranderende amplitude correct en exact voorgesteld kan worden door deze te beschouwen als een band van naburige frequenties."
„Dat is niet voor de hand liggend", merkt hij op, „maar ik wil Sir Ambrose Fleming er aan herinneren dat de oplossing van de differentiaalvergelijking voor een netwerk, dat een trilling van buiten krijgt opgelegd, een term bevat van de vorm e^{-jkt}. Deze term, die snel uitsterft, beïnvloedt het resultaat aan het begin en aan het einde van de opgelegde golftrein. Men noemt dat overgangsverschijnselen en dat is een goede naam daarvoor."

„Als we hyper-selectief te werk gaan in de ontvanger", vervolgt hij „dan gaat dat perfect als we te maken hebben met continue sinusvormige signalen. Deze mogen noch een begin, noch een einde vertonen en de amplitude moet voortdurend constant zijn. Als de amplitude verandert, zoals het geval is als een draaggolf wordt beïnvloed door het microfoonsignaal, dan is het geen zuivere sinus meer en moeten overgangsverschijnselen in rekening worden gebracht, want spraak berust op deze amplitudevariaties. Een extreem precies afgestemde ontvanger, die aan de grens van zijn mogelijkheden werkt om alles uit te sluiten, behalve het laatste restje van een enkelvoudige zuivere trilling, zou tevens wat van die overgangsverschijnselen uitsluiten en om die reden geen heldere ontvangst geven."

Het slot van de brief is bijzonder aardig: „.... maar voorlopig gelooft hij (Fleming) helemaal niet in frequentiebanden en zijn ketterij verdient de belangstelling van alle experts op het gebied van de 'draadloze'. Ik heb nogal wat sympathie voor ketterij en ik hoop dat hij de zijne hard weet te maken, al betwijfel ik ten zeerste of dat kan."

Een andere inzender, R.T. Glazebrook, geeft de uitwerking van de differentiaalvergelijking waar Bedford in zijn brief naar verwees. Zijn rekenwerk leidt tot de conclusie dat een ontvanger, afgestemd op een frequentie p+q zal reageren op een draaggolf met een frequentie p mits deze laatste gemoduleerd is met een frequentie q.

IJZERSTERKE ARGUMENTEN

J.A. Ratcliffe voert als bijdrage aan de discussie drie ijzersterke argumenten aan voor het bestaan van zijbanden.

1) Het is mogelijk om één van de zijbanden bij de zender af te splitsen en als afzonderlijk signaal over te seinen, zoals gedaan wordt bij het systeem van enkelzijband-transmissie op transatlantische telefoonverbindingen.
2) De onderzoekers Bown, Martin en Potter zonden een gemoduleerde golf uit en ontvingen de draaggolf en de beide zijbanden afzonderlijk. Zij toonden aan dat de geïoniseerde lagen van de atmosfeer deze drie componenten van het gemoduleerde signaal op verschillende wijze hadden beïnvloed, alsof ze fysisch onderscheidbaar waren. Het lijkt er op dat de atmosfeer de zijbanden opvat als afzonderlijke, reële verschijnselen.
3) De onderzoeker Rup gebruikte een modulatiemethode om de frequentie van een lichtgolf te veranderen. Deze kon als gevolg daarvan door een selectief absorberende damp geleid worden, hetgeen met de ongemoduleerde lichtgolf niet lukt.

G.B. Brown schrijft in zijn reactie dat het al dan niet bestaan van iets niet afhankelijk kan zijn van iemands gezichtspunt en dat de wortel van het probleem niet kan worden blootgelegd door de vorm van de wiskundige methode. „Als we wiskundige vergelijkingen gebruiken als uitgangspunt voor onze redeneringen over de fysische werkelijkheid, dan kunnen we er nooit zeker van zijn dat er geen andere factoren in het spel zijn, die niet in onze vergelijkingen voorkomen. Daarom moeten we experimenteren." Hij merkt op dat er naar zijn mening voldoende overtuigend bewijsmateriaal is aangevoerd voor het bestaan van zijbanden of, zoals hij ze aanduidt, Fouriercomponenten.

„De waarde van Sir Ambrose Fleming's bijdrage heeft te maken met de vraag of de ontwerpers van radio-ontvangers, bij hun streven naar grotere selectiviteit, thans het punt bereikt hebben waar de winst van het onderdrukken van storing door andere stations, geneutraliseerd wordt door een onvoldoend gelijkmatige weergave over het hoorbare frequentie-gebied."

VOOR DE HAND LIGGENDE BEZWAREN

In het nummer van 1 maart gaat de discussie verder. E.H. Linfoot schrijft: „Er rijzen twee voor de hand liggende bezwaren tegen Sir Ambrose

Fleming's heldere analyse van de frequentie-bandtheorie. De eerste is van theoretische aard. De realiteit ontkennen van de frequentie-bandmethode bij het beschouwen van een gemoduleerde draaggolf is fundamenteel beschouwd nagenoeg hetzelfde als ontkennen dat een punt op de velg van een rollend fietswiel 'voorthuppelt' in een reeks cycloïden. In beide voorbeelden zijn de twee alternatieve gezichtspunten geldige beschrijvingen van de werkelijkheid.

De tweede is van praktische aard. Twee stations, die opereren op bijvoorbeeld 500 en 520 kHz, zullen geen hoorbaar mengprodukt geven, omdat hun zwevingsfrequentie van 10 kHz te hoog is om door een doorsnee-luidspreker in voldoende mate te worden gereproduceerd."
(Linfoot duidt hier op het bekende zwevingseffect uit de trillingsleer. Twee trillingen die niet al te zeer in frequentie verschillen, manifesteren zich als één enkele trilling, die periodiek in sterkte varieert. De frequentie van deze ene trilling is het rekenkundig gemiddelde van de twee oorspronkelijke frequenties. De frequentie waarmee de sterkte van deze trilling wordt gevariëerd bedraagt de helft van de verschilfrequentie van beide oorspronkelijke trillingen. Bij radiofrequenties is dit verschijnsel te vergelijken met amplitudemodulatie. Een ontvanger, uitgerust met een detector voor amplitudemodulatie, zet deze halve verschilfrequentie om in een toon die door de luidspreker wordt weergegeven, mits de toonhoogte binnen het bereik van de luidspreker ligt.P.v.d.W.)

Linfoot redeneert: „Wanneer één van beide stations de draaggolf moduleert met een sopraansolo, dan ontstaan wèl hoorbare, storende mengprodukten, elke keer als de sopraan een hoge noot zingt. Voor de beschouwingswijze, die slechts een fluctuerende amplitude ziet, is dat niet vanzelfsprekend, voor de frequentie-bandtheorie wel. Daarom is het aannemelijk dat deze laatste zich in de praktijk zal weten te handhaven."

EEN REDDINGSPOGING

Een volgende briefschrijver, A.A. Newbold, doet een serieuze poging de zienswijze van Fleming enigszins te redden. „Sir Ambrose Fleming geeft ons in zijn zeer kundige beschouwing geen enkele alternatieve verklaring voor het fundamentele probleem van de afgestemde kring, namelijk dat de zeer selectieve schakeling de hogere audio-frequenties wel degelijk afsnijdt, hetgeen in het algemeen uitgelegd wordt als 'het afsnijden van de zijbanden'. Ligt de oplossing niet daarin gelegen dat de demping van de trillingskring afneemt als de selectiviteit toeneemt? In onze moderne, weinig gedempte ontvanger blijven de oscillaties nog voortduren, lang nadat de oorzaak daarvan is weggenomen. Als de ontvanger wordt aangestoten door een draaggolf, die door een hoge audio-frequentie is gemoduleerd, dan verhindert dit voortduren van de oscillaties dat de amplitude daarvan meevarieert met de gemoduleerde amplitude van de draaggolf, zodat de modulatie minder diep wordt, terwijl bij een lage modulatiefrequentie het langzaam groeien en afnemen van de draaggolfamplitude de oscillaties in de ontvanger de tijd gunt mee te groeien en af te nemen en daardoor een betrouwbaarder weergave geeft.

De licht gedempte kring veroorzaakt dus een geleidelijke afname in geluidsvolume als we van lage naar hoge audio-frequenties gaan. Hoe geringer de demping, hoe eerder dit merkbaar wordt, totdat -in de limiet- alle audiofrequenties worden afgesneden, zoals ook beschreven wordt door de zijbandtheorie. Beide theorieën verklaren de bron van alle narigheid in de ether, maar terwijl de zijbandtheorie suggereert dat het euvel inhaerent ïs aan de wijze waarop echte selectiviteit wordt bereikt -alleen responsie op frequenties in de onmiddellijke omgeving van de draaggolf- suggereert de andere beschrijvingswijze, die van de amplitude-variaties uitgaat, dat als een andere methode voor selectiviteit gevonden kan worden, anders dan met een licht gedempte trillingskring, er geen redenen zijn waarom de modulatie niet getrouw gereproduceerd zou kunnen worden, zelfs in het geval dat zo'n ontvanger uitsluitend op de draaggolf reageert. De zijbandtheorie zoekt de narigheid bij de golf zelf, de amplitude-beschouwing bij de ontvanger. De eerste sluit en vergrendelt de deur, de laatste laat deze open voor onderzoek en frisse ideeën. Het schijnt dus toch niet slechts een kwestie van standpunt te zijn, zoals professor Fortesque suggereert."

ER IS MISSCHIEN TOCH EEN DIENST BEWEZEN

Het laatste woord is voorlopig aan Sir Ambrose Fleming. (Op 10 mei verschijnt nog een bijdrage van F.M. Colebrook, waarmee de discussie waarschijnlijk voorgoed wordt afgesloten.)

„Hoewel de brieven over bovenstaande theorie, die onlangs in NATURE zijn gepubliceerd, aangeven dat een paar van de beweringen in mijn artikel van 18 januari j.l. over het algemeen niet gedragen worden door de wetenschappelijke opinie, is er misschien toch een dienst mee be-

wezen, al was het alleen maar om de interessante brieven van Sir Oliver Lodge, Sir Richard Glazebrook, Prof. Fortesque, Mr. Bedford en anderen, die er mee werden uitgelokt. Zonder voorbij te gaan aan het belang van de opmerkingen van Sir Oliver Lodge, vind ik de brief van Sir Richard Glazebrook zeer waardevol, omdat hij het bewijs levert dat een ontvanger, afgestemd op de frequentie n+m of n-m, tot oscilleren gebracht kan worden door een draaggolf met frequentie n, gemoduleerd met een akoestische frequentie m. Hier komen we tot de kern van de discussie. Als een gemoduleerde draaggolf, zoals hierboven beschreven, uitgezonden wordt vanuit een zendstation, kunnen we dan zeggen dat deze door de ether reist als twee verschillende golven met frequenties n+m, respectievelijk n-m?

Omdat we een golf alleen maar kunnen detecteren met een ontvanger, hebben we (....) er moeite mee om de verschijnselen in de ether los te zien van de verschijnselen die in de ontvanger geproduceerd worden. Ik zie niet in dat degenen, die bezwaar maakten tegen mijn visie op de frequentie-bandtheorie, hebben bewezen dat de zijbanden in de ether bestaan en niet het gevolg zijn van een effect waarvan de oorzaak gezocht moet worden in de aard en de werking van de ontvanger.

Los van de filosofische vraag welk verschil in opvatting er mag bestaan, is er de zeer praktische vraag: welk type ontvanger zou iemand moeten kopen om de beste resultaten te krijgen bij de ontvangst van muziekuitzendingen. Een kennis van mij, een uitnemend wetenschapsman, schreef me in een brief dat een radioverkoper hem verteld had dat je, om de beste resultaten te krijgen, geen zeer selectieve ontvanger nodig hebt. Prof. Fortesque schijnt het hier tot op zekere hoogte mee eens te zijn. Anderzijds is mijn ervaring dat de meest selectieve ontvanger de beste resultaten geeft en velen zullen dat met mij eens zijn. Het is dus zeer belangrijk ons er van te vergewissen of goede musici, met normaal gehoor, luisterend naar muziek met een groot toonhoogtebereik via een hoogselectieve ontvanger, enige verzwakking van de hoge tonen ten opzichte van de lage tonen kunnen waarnemen, en ook of dit effect afwezig is bij niet-zo-selectieve ontvangers. Ik hoop dat ten aanzien van dit punt wat bewijsmateriaal verzameld wordt.

Bij het huidige gedrang in de ether op golflengtes tussen 200 en 600 meter moeten de ontwerpers van radiotoestellen vanuit de wetenschappelijke wereld geadviseerd worden welk type ontvanger zij zouden moeten maken, of hun klanten zouden moeten adviseren te kopen. Een bevredigende geluidskwaliteit bij muziekuitzendingen van 5GB, 2LO en van Brookman's Park op de korte golf, wordt steeds moeilijker en dat vraagt om de een of andere remedie. Wordt de remedie gevonden in het gebruik van hyper-selectieve ontvangers, ja of nee? Dat is de vraag en het antwoord daarop, gegeven door experimenten, hangt ten nauwste samen met de geldigheid van de frequentie-bandtheorie."

BEVINDINGEN VAN EEN EXPERIMENTATOR

Op 10 mei 1930 publiceert F.M. Colebrook onder de titel „The Physical Reality of Side-Bands" een kort artikel in NATURE.

„Men is gewoonlijk van mening dat het periodiek variëren van de amplitude van een elektrische golf hetzelfde is als het toevoegen van golven met bepaalde frequenties aan de oorspronkelijke golftrein. De wiskundige formulering, die aan deze interpretatie ten grondslag ligt, wordt niet betwijfeld, maar Sir Ambrose Fleming, een eminente autoriteit op het gebied van de draadloze communicatie, heeft in de kolommen van NATURE een twijfel uitgesproken ten aanzien van de fysische werkelijkheid van de toegevoegde radiofrequenties die toegeschreven worden aan het modulatieproces, een twijfel die wellicht door vele anderen wordt gedeeld.

Het is nodig na te gaan wat in dit verband verstaan wordt onder 'fysische werkelijkheid'. Men zal er waarschijnlijk over het algemeen mee eens zijn dat we ons beperken tot een zuiver pragmatisch criterium. Als een in amplitude gemoduleerde golf zich in alle opzichten gedraagt alsof zij bestaat uit een golf van de oorspronkelijke frequentie, die samengaat met de golven van de hypothetische zijbandfrequenties, dan kan van deze laatste gezegd worden dat zij 'in de fysische werkelijk bestaan' in de enige zin waarin deze zinsnede een bruikbare betekenis heeft."

Colebrook beschrijft in zijn bijdrage twee experimenten. Het eerste is helder en eenvoudig te begrijpen. Een oscillator, die oscilleert op een frequentie van 40.100 Hz, wordt gemoduleerd met een laagfrequent trilling van 4.010 Hz. In het stralingsveld van deze oscillator plaatst Colebrook een afstembare trillingskring, die op geen enkele wijze met de oscillator is verbonden. Door de wisselspanning over de condensator te meten, kan hij constateren dat deze trillingskring bij drie verschillende instellingen van deze variabele con-

densator tot resonantie komt en wel bij 36.090 Hz, bij 40.100 Hz en bij 44.110 Hz. Omdat de modulerende frequentie hier relatief zeer hoog gekozen is, namelijk 10% van de draaggolffrequentie, liggen de zijbandfrequenties zo ver van de draaggolffrequentie verwijderd, dat de drie resonantiepieken zeer overtuigend waarneembaar zijn.

EEN BEWIJS IN OMGEKEERDE RICHTING

Bij het samenstellen van dit artikel heb ik mij er over verbaasd dat geen van de schrijvers van ingezonden brieven geprobeerd heeft Sir Ambrose Fleming te overtuigen door de omgekeerde weg te bewandelen. Op een eenvoudige en aanschouwelijke manier kan namelijk worden aangetoond dat een ongemoduleerde draaggolf plus twee zijbandcomponenten een in amplitude gemoduleerde draaggolf opleveren. Dit is weergegeven in figuur 1, waar een in amplitude gemoduleerde draaggolf is geconstrueerd, door op elk tijdstip de som te nemen van drie sinusvormige golven (de draaggolf en de twee zijbandcomponenten).

Als we veronderstellen dat de ongemoduleerde draaggolf en de twee zijbandcomponenten zich als drie golven door de ether verplaatsen, dan blijkt uit fig. 1 dat ook in de ether deze drie golven zich gedragen als één enkele, in amplitude gemoduleerde draaggolf. Voorwaarde is natuurlijk dat de ether 'lineair' is, maar dat is-tie.

De discussie over het bestaan van zijbanden behoefde na 1930 niet meer gevoerd te worden: Fleming leverde een kansloos achterhoedegevecht. De hele discussie kan weer opgeborgen worden waar we haar gevonden hebben: in de oude doos. Misschien zullen degenen onder ons, die van tijd tot tijd aan studenten moeten uitleggen dat amplitude-modulatie elegant beschreven kan worden door een gonioformule, deze discussie nog eens tevoorschijn halen, al was het alleen maar om wat meer begrip te krijgen voor het onbegrip van onze studenten.

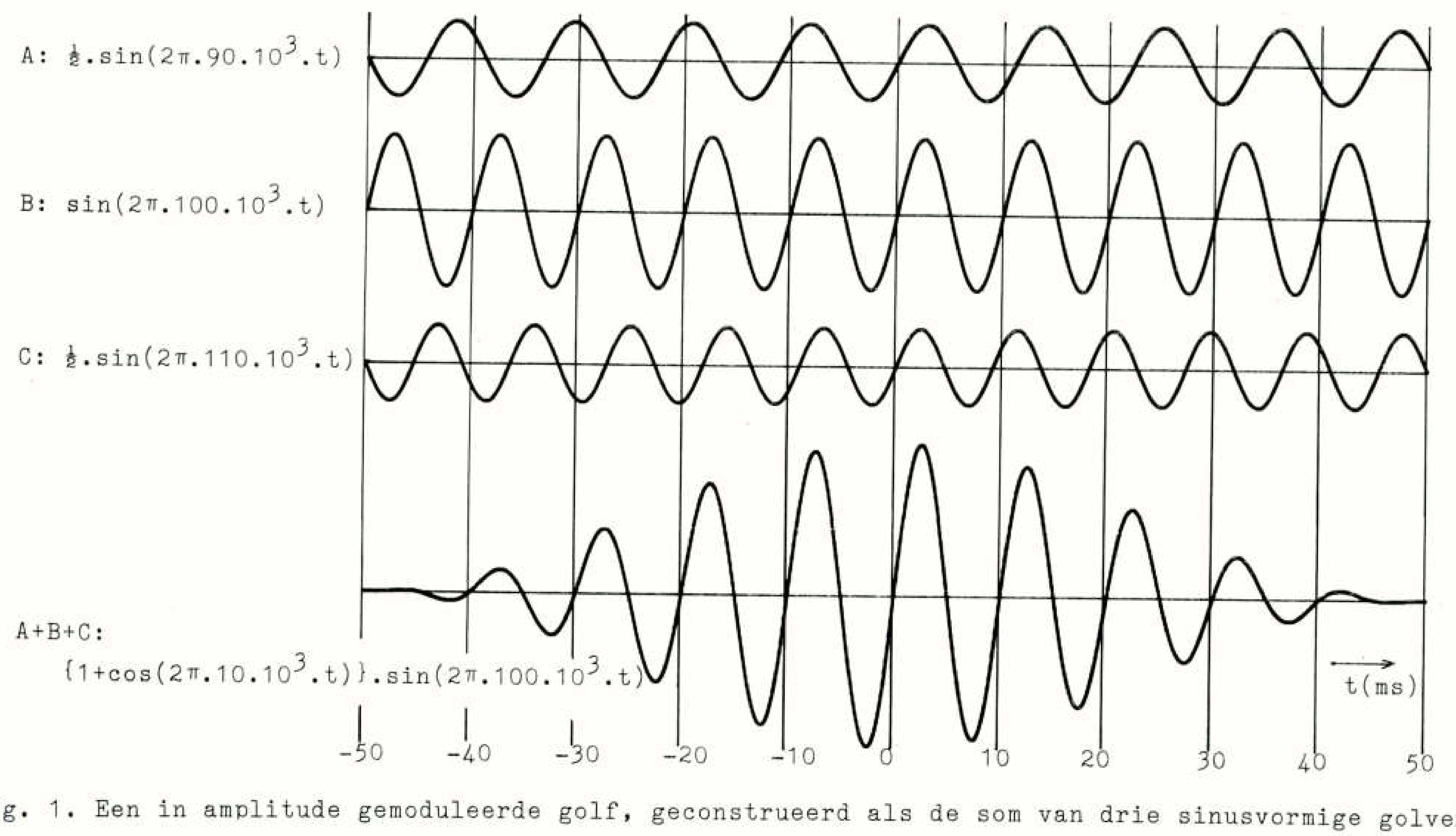


fig. 1. Een in amplitude gemoduleerde golf, geconstrueerd als de som van drie sinusvormige golven.

REFERENTIES

1. Fleming, „The Wave Band Theory of Wireless Transmission", NATURE No.3142, vol 125, pp. 92 - 93, January 1930.
2. Colebrook, „The Physical Reality of Side-Bands", NATURE No 3158, vol 125, pp. 726 - 727, May 1930.
3. Bedford, Brown, Fleming, Fortesque, Glazebrook, Lodge, Newbold and Ratcliff, „Letters to the Editor", NATURE No.3145, vol 125, pp. 198 - 199, Febr. 8, 1930. NATURE No.3147, vol 125, pp. 271 - 273, Febr. 22, 1930. NATURE No.3148, vol 125, pp. 306 - 307, March 1, 1930.

Hoofdstukken uit de geschiedenis van de communicatiewetenschap

Prof.dr. F.L.H. Stumpers
Philips Natuurkundig Laboratorium
Eindhoven

In dit overzicht wordt de geschiedenis van de communicatie behandeld in drie delen: 1. De geschiedenis voor 1920. Daarin vallen: De visuele telegraaf, de electrische telegraaf, de telefoon, de draadloze telegrafie, versterker buizen. 2. De ontwikkeling tussen 1920 en 1980. Daartoe behoren: Multiplex kabel en microgolf verbindingen, modulatiemethoden, FDM, PCM, TDM, automatisch-, electromechanisch-, en electronisch schakelen, telex, HF radio telefonie, satellieten, mobiele-, en data communicatie. Deel 3 behandelt ontwikkelingen, die gedeeltelijk nog in gang zijn: Systeem X, systeem 12, andere systemen, fiber optica met TAT 8 en Bigfon, nieuwe diensten, plannen van de Europese Gemeenschap.

1. De periode voor 1920, Inleiding

Vijf jaar geleden vierde het Nederlands Electronica- en Radio Genootschap zijn zestigste verjaardag. Bij die gelegenheid gaf ik een overzicht over de ontwikkeling van de radio wetenschap. Nu viert het Genootschap de voltooiing van het vijftigste deel van het Tijdschrift. Bij deze gelegenheid wil ik aandacht besteden aan hoofdstukken uit de geschiedenis van de communicatie wetenschap, die toen niet aan de orde kwamen. Ik heb de geschiedenis grofweg in drie delen verdeeld: De geschiedenis voor 1920, de periode van 1920 tot 1980, en de periode na 1980. Waar onderwerpen afgerond moeten worden, zijn de grenzen niet aangehouden.

De val van Troje werd aan Argos meegedeeld door het ontsteken van vuren op de Griekse eilanden. De torens rond de Spaanse kust ontstaken vuren, om aan te geven, dat de Moren naderden. Noah zond een duif uit, om te zien of de aarde droog was. De Chinezen verzonden berichten met postduiven, voor het belegerde Parijs kwamen in 1870 ook zo de berichten binnen.

1.1 De visuele telegrafie

De franse physicus Amontons had al in 1695 de opvolgende letters van zijn bericht aan de wieken van een windmolen vastgemaakt in Belleville, en ze in Meudon met een verrekijker af laten lezen. Hij gaf ook een demonstratie voor de dauphin in de tuinen van het Luxemburg. Claude Chappe (1763 - 1805) was afgevaardigde van de Wetgevende Vergadering. In de avondzitting van 22 maart 1792 stelde hij voor proeven te doen met een door hem gevonden snel communicatiesysteem. Bij proeven op 2 maart 1791 waren de letters nog rond een wijzerplaat gerangschikt, zodat de richting van de wijzer hielp de letter te localiseren. In zijn latere proeven bestond de indicator uit drie rechte lijnstukken, die onder verschillende hoeken 66 symbolen, letters, hoofdletters en cijfers, konden weergeven. De bewaker op afstand kan de stand van de voorafgaande telegraaf goed zien, en zet zijn eigen telegraaf in dezelfde stand. Hij behoeft daarvoor de code niet te kennen. Chappe had twee vraagstukken goed opgelost, dat van het mechanisme, en dat van de code. Hij had zijn instrument eerst "tachygraaf" (wat vlug schrijft) genoemd, maar een administrateur raadde hem "telegraaf" (wat van verre schrijft) aan, en deze benaming werd algemeen aanvaard. Bij de troebelen van die dagen (afzetting en dood van de koning), was het geen wonder, dat de beslissing even op zich liet wachten, maar in april 1793 kende de Conventie hem zesduizend francs toe uit de fondsen voor de oorlogvoering. Drie maanden later heeft hij een verbinding over 35 km. geconstrueerd, tussen Belleville en St. Martin de Tertre. Het experiment op 12 juli 1793 verloopt goed, en de Wetgevende Vergadering krijgt een enthousiast rapport van haar deskundigen. Het Franse grondgebied loopt op dat moment aan verschillende zijden gevaar, en Carnot decreteert op 4 augustus 1793 de algemene mobilisatie. Het leger besluit twee telegraaflijnen te bestellen: Parijs-Rijssel en Parijs-Landau. Ondanks grote moeilijkheden komt de eerste al op 17 augustus 1794 klaar. Ze wordt spoedig tot Calais uitgebreid. De tweede komt in 1795 tot Metz gereed, in 1796 tot Straatsburg en in 1798 tot Landau. In 1798 komt ook de lijn Parijs-Brest klaar voor de marine. Napoleon had het ondertussen tot Eerste Consul gebracht, en hij bevorderde de aanleg van verdere telegraaflijnen voor militaire doeleinden. In 1805 wordt de lijn Parijs-Calais verlengd tot Boulogne, en de lijn Parijs-Lyon-Turijn-Milaan geopend, en later verlengd tot Mantua en Venetië. In 1809 en 1810 wordt de lijn Parijs-Rijssel verlengd naar Antwerpen, Vlissingen en Amsterdam. In 1813 komt de lijn Metz-Mainz tot stand. Na de val van Napoleon ging de militaire noodzaak verloren, en het net breidde zich slechts langzaam uit. Parijs-Bordeaux-Bayonne volgde in 1823 en Parijs-le Havre in 1830. Tussen 1832 en 1834 kwam de verbinding Avignon-Montpellier-Bordeaux klaar en Dyon-Straatsburg in 1842. Tussen 1844 en 1852 bouwde het leger nog visuele telegraaflijnen in Algiers omdat

men dacht, dat opstandelingen de elektrische telegraaflijnen, die toen ook al mogelijk waren, gemakkelijker zouden kunnen saboteren. Chappe bouwde ook de administratie op, waarin zijn broers leidende funkties vervulden tot 1831. Onder Napoleon was het gebruik in hoofdzaak ambtelijk, al werden ook de trekkingen van de Staatsloterij doorgegeven. Op de lijn Parijs-Bordeaux controleerde een directeur de berichten halverwege in Tours op fouten, en herstelde deze. Twee bankiers lieten fouten introduceren door een telegrafist, al naar gelang de koersen in Parijs omhoog of omlaag gingen. Ze werden wegens fraude veroordeeld, maar er bleek nog geen straf te zijn voorzien. In Dumas' "De Graaf van Monte Christo", koopt de hoofdpersoon een telegrafist om, en, als gevolg van het valse telegram wordt de bankier Danglars geruïneerd. Tussen 1795 en 1808 volgde Engeland het voorbeeld van Napoleon, en lord Murray construeerde een visueel telegrafie systeem, dat Londen met andere havens verbond: Portsmouth, Plymouth en Liverpool. In zijn systeem werden zes vensters geopend of gesloten door luiken, met 64 mogelijkheden. Een signaal werd in drie minuten van Londen naar Plymouth en terug gestuurd (900 km.). In 1832 besloot koning Frederik Wilhelm van Pruissen tot het bouwen van een visuele telegraaf tussen Berlijn en Koblenz, die in 1835 klaar kwam. Tsaar Nicolaas opende visuale telegraaflijnen tussen Warschau en Moskou/Petrograd in 1838. Boeckmann schreef in 1794 al een boekje over de franse telegraaf, en hij zond een gelukwenstelegram van Durlach naar Karlsruhe aan de graaf van Baden. In Amerika verbond een semafoor Boston en New-York met steden in de omgeving[1)2)].

1.2 De electrische telegraaf

In 1753 schreef C.M. een brief aan het Scotch Magazine, waarin hij het principe van de electrische telegraaf aangaf. Een electriciteitsbron met draden voor transmissie en een code om boodschappen over te brengen. In 1809 construeerde Samuel Thomas Soemmering een electrochemische telegraaf: gas productie aan een van 35 electroden gaf de overdracht van een bepaald symbool aan. Hij demonstreerde dit voor de Beierse Academie van Wetenschappen. In 1811 gaf hij een demonstratie over 150 meter met een met was geisoleerde leiding over de Isar. Bij zijn experiment had hij de hulp van de russische attaché Paul Schilling von Canstatt. Deze demonstreerde een magneto-electrische telegraaf, die hij in 1832 uitgevonden had, in 1835 in Bonn. In 1837 vroeg de Tsaar hem een telegraaflijn te leggen tussen Petrograd en Zarskoje Selo, maar hij overleed voor de lijn klaar was. De Sowjet-Unie noemt hem met enig recht de vader van de electrische telegrafie. De professoren Carl Friedrich Gauss en Wilhelm Weber, ontwikkelden in Göttingen een telegraaf, die een spiegelgalvanometer benutte om de tekens af te lezen, en over een afstand van 1 km. met een leiding boven de daken de sterrewacht (Weber) met het physisch instituut verbond. De verbinding werd op Pasen, 7 april 1833, geopend en bleef tot 1838 in bedrijf. In 1836 kwam een jong officier William Cooke terug uit Indië. Hij hoorde van de experimenten van von Schilling, en vroeg Charles Whetstone hem te helpen. Zij kregen in 1837 een patent op een vijf-naald telegraaf[3)]. Deze werd in hetzelfde jaar door de North-Western Railway in de buurt van Londen gebruikt. Andere klanten volgden, en Cooke en Wheatstone richtten de Electric Telegraph Cy. op. In 1845 kregen ze een patent op een telegraaf met één naald, die 80 jaar later nog in gebruik zou zijn. In 1852 had Engeland 6500 km. electrische telgraaflijn. In 1837 vond de Amerikaanse kunstschilder Samuel Morse een electromagnetische schrijftelegraaf uit. Hij probeerde zijn telegraaf aan Frankrijk te verkopen, maar men zag er tegen op 534 geïsoleerde en bewaakte telegraafstations te vervangen door 5 miljoen meter draad, die overal beschadigd kon worden. Ook in 1837 had C.A.Steinheil in Duitsland onafhankelijk van Morse een schrijftelegraaf uitgevonden, die hij een jaar later demonstreerde voor de koning van Beieren. In Frankrijk kwam Arago op het idee de telegraaflijnen langs de spoorbaan te leggen, die toen nog voortdurend bewaakt werden. In 1845 kwam de electrische telegraaflijn Parijs-Rouen klaar. In Amerika duurde het ook even voor Morse genoeg geld bijeen kreeg, maar tenslotte trok de Senaat 30.000 dollar uit voor een verbinding tussen Washington en Baltimore, die in 1844 tot stand kwam. In 1845 kreeg Nederland een electrische telegraaflijn, en Engeland tussen Londen en Portsmouth. In 1846 kregen Oostenrijk-Hongarije en België de electrische telegraaf. In 1845 had de jonge artillerie-officier Werner Siemens (1816-1892) moeilijkheden[4)] met de Wheatstone naaldtelegraaf. Hij vond verbeteringen en vroeg de werktuigkundigen Böttcher en Halske een nieuwe te maken volgens zijn ontwerp. In 1847 ontstond uit dit contact de telegraaf bouwfirma Siemens en Halske, die in 1848 de opdracht kreeg voor wijzer telegraaf apparaten met zelf-onderbreking, te gebruiken op de lijnen Berlijn-Frankfurt en Berlijn-Keulen. Deze lijnen kwamen in 1849 gereed. Siemens kreeg eervol ontslag uit de militaire dienst. De lijn naar Frankfurt kwam klaar op de dag, dat de Nationale Vergadering de koning van Pruissen tot erfelijk keizer van Duitsland benoemde, zodat het bericht vrijwel gelijktijdig in Berlijn aankwam (28 maart 1849). In hetzelfde jaar werd de lijn Berlijn-Keulen-Verviers door Siemens geconstrueerd. In 1851 kon hij 75 berichten afdrukkende telegraafapparaten aan Rusland afleveren. Carl Siemens, zijn broer, ging het filiaal in St.Petersburg beheren, en deze verzorgde tussen 1853 en 1856 de bouw van de telegraaflijnen Myslowitz (Duitsland), Warschau, Petrograd, Kiev, Odessa en Sebastopol. Op 1 januari 1847 kwam in de Ver.Staten de 2700 km. lange lijn tussen Portland, Maine en New Orleans in bedrijf. In 1850 werd de eerste lijn over het Kanaal, Calais-Dover, gelegd, die

spoedig defect was, en een jaar later door een duurzame kabel werd vervangen. Op 15 januari 1850 werd de telegraaflijn München-Salzburg in gebruik genomen, op 25 juli gevolgd door de stichting van de Duits-Oostenrijkse telegraafvereniging. Op 1 april 1851 trad Württenberg toe. In 1855 stichtten Frankrijk, België, Sardinië, Zwitserland en Spanje een West-Europese telegraafvereniging. In 1865 volgde de stichting van de Internationale Telegraaf Unie in Parijs, die in 1868 een permanent bureau in Bern zou krijgen. Na een eerste, snel mislukte poging een telegraaflijn tussen Newfoundland en Ierland te leggen in 1857, gelukte het tussen 28 juli 1858 en 5 augustus 1858 een Transatlantische kabel te leggen, die echter slechts enkele weken in gebruik bleef. In 1865 brak de kabel bij een eerste poging, maar ze werd een jaar later opgevist en hersteld. Cyrus Field had zich vele jaren beijverd, om dit tot stand te brengen. In 1861 kwam de bijna 6000 km. lange kabel New York-San Francisco gereed. In 1855 was er al een electrische telegraaf netwerk voor het het Britse leger in Indië. William Siemens, die in Engeland de Siemens belangen vertegenwoordigde, nam het initiatief tot de telegraaflijn Londen-Calcutta in 1867. Deze werd in 1870 in gebruik genomen. Ze lag in de Perzische Golf tussen Bushir en Karachi, en de totale lengte was 11.000 km. Ze werkte goed tot 1931. Wat de apparatuur betreft, had men eerst de keuze tussen het ontwerp van Morse, en een toetsenbord van David Edward Hughes (1857) gebaseerd op een ingenieus mechanisch synchronisatie mechanisme tussen zender en ontvanger. In 1874 kwam daar een vinding van Baudot bij, een code met vijf impulsen voor iedere letter. In 1903 prefereerde de Internationale Telegraaf Unie de beide laatste modellen. In 1874 lieten Siemens Brothers een speciaal kabellegschip de "Faraday" construeren. Het zou in de eerste tien jaar zes Transatlantische kabels van goede kwaliteit leggen. Voor de telegrafie werden vanaf 1863 in Engeland en vanaf 1875 in Duitsland ondergrondse kabels gebruikt. In 1900 kreeg Duitsland een eigen Transatlantische kabel van Borkum via de Azoren naar New York. In 1902 kwam een 14.500 km. lange kabel tot stand door de Stille Zuidzee van Vancouver via de Fidji eilanden naar Brisbane (Australië en Nieuw Zeeland).

1.3 De telefoon

De Duitse natuurkunde leraar Philip Reis demonstreerde in 1861 een electrische telefoon voor een vereniging van physici. Hij mocht zijn vinding voor keizer Franz Joseph van Oostenrijk en koning Max van Beieren demonstreren op 6 september 1863. Deze vinding sloeg echter niet aan. Ook de uitvinding van de condensator microfoon in 1863 door William Thonson had geen commercieel succes. Dat was wel weggelegd voor Alexander Graham Bell(1847-1922), die in 1870 met zijn ouders van Schotland naar Canada kwam. Hij besteedde veel aandacht aan dove mensen, die hij wilde leren spreken en liplezen. Hij werd professor in de physiologie van de stembanden aan de universiteit van Boston. Hij experimenteerde ook met een multipele telegraaf, waarvoor Charles Williams apparaten maakte. Een jong werktuigkundige uit diens fabriek, Thomas Watson, hielp Bell bij zijn experimenten. Bij de eerste microfoon bewoog het diafragma in een verdund zuur, en de telefoon bestond uit afgestemde staven. Op 10 maart 1876 hoorde Watson, die met zijn oor bij de telefoon stond, Bell duidelijk zeggen: "Mr. Watson, come here. I want you". Hij had bij ongeluk zuur op zijn pak gemorst.
Bij de tentoonstelling ter gelegenheid van honderd jaar onafhankelijkheid in Philadelphia, werd de vloeistof microfoon nog gebruikt, maar spoedig daarna werd de beweging van een metalen membraan in een magnetisch veld gebruikt, waarop Bell in januari 1877 patent kreeg.
Lord Kelvin had de demonstratie in Philadelphia gehoord, en toen hij hoorde, dat Bell zijn huwelijksreis het volgend jaar naar Engeland zou maken, nodigde hij hem uit voor een lezing voor de British Association. Eind 1876 werden al proeven gedaan over een afstand van 25 km. (Boston-Salem). In 1877 bood Bell zijn patent aan bij de Western Union Telegraph Company voor 100.000 dollar, maar die vond het eerder speelgoed-achtig en van weinig praktisch belang. Bell trad op 11 juli 1877 in het huwelijk en vertrok voor meer dan een jaar naar Engeland. Hij sprak in Plymouth voor de British Association, en demonstreerde voor koningin Victoria op het eiland Wight, waarbij Cowes met Southampton en Londen verbonden was. Een hoge Engelse ambtenaar gaf Werner Siemens twee telefoons van Bell cadeau. Deze was geïnteresseerd, en zag direct verbeteringsmogelijkheden, zoals hij op 6 november 1877 aan zijn broer Carl schreef. In 1877 bereikte Siemens al een productie van 700 telefoons per dag.
Op 2 april 1877 werd een concert van Philadelphia overgebracht naar New York (er waren nog geen versterkers).
Op 9 mei 1878 demonstreerde David Edward Hughes een contact (kool-)microfoon voor de Royal Society in Londen.
In december 1877 werd de eerste Zweedse telefoonlijn gelegd tussen de Stockholmse gasfabriek en de winkel van Cedergren. New Haven had een centrale in 1878, Stockholm op 1 september 1880 (141 abonnees). De Zwitsers kregen twee telefoons van Siemens[5] in december 1877. In dezelfde maand deden ze proeven tussen Bern, Thun en Interlaken. In januari 1878 werden gesprekken gevoerd tussen Bellinzola en Milaan, resp. Luzern. In Wenen (1877) en Bellinzola werd de telefoon gebruikt voor muziek en opera. In 1881 werd een stereofonische verbinding met de Opera gedemonstreerd op de Internationale Tentoonstelling van Parijs. Zürich had een telefooncentrale met 200 deelnemers in 1880 spoedig gevolgd door zo'n centrale voor 500 deelnemers. Bern en Basel hadden centrales in 1881 en Genève in 1882. Op 1 februari 1882 werd de interlocale telefoon Zürich-Winthertur geopend. Voor 1889 werden Genève, Lausanne, Bern, La Chaux de Fonds, Basel, Zürich St. Gallen onderling verbonden. Een telefoonkabel door de

St. Gothard verbond Tessino met het nationale net in 1900. De telegraaf werd in Engeland genationaliseerd in 1871 en in 1880 besloot het Hooggerechtshof, dat de telefoon onder dat monopolie viel. Er werden echter concessies verleend, en in 1881 had Londen drie centrales met 1100 abonnee's. Amsterdam had in 1881 een centrale met 190 aansluitingen. In Frankrijk demonstreerde Antoine Bréguet een Bell apparaat voor de Académie op 29 oktober 1877. Er waren verschillende firma's, die de Amerikaanse patenten wilden exploiteren. In 1880 leidde een fusie tot de Société Générale du Téléphone. Vele Franse steden installeerden telefooncentrales tussen 1883 en 1886: Reims, Roubaix, Tourcoing, Caen, Bordeaux. Tussen 1885 en 1887 kwamen interlocale verbindingen tot stand: Parijs-Rouen-Le Havre en Parijs-Brussel. In 1888 en 1889 volgden Parijs-Marseille en Parijs-Bordeaux. In Nederland kregen de middelgrote steden in dezelfde tijd locale netten. In Amerika werd de lijn New York-Boston geopend op 27 mei 1884. Ook New York, Philadelphia en Washington werden onderling verbonden. Technisch werden verbeteringen geproduceerd; Edison, Berliner en Blake verbeterden de microfoon. In het begin waren microfoon en telefoon gescheiden apparaten. In Frankrijk bedacht Ader een combinatie microfoon-telefoon voor professionele doeleinden in 1879. In 1894 kwam een model (Berthon-Ader) beschikbaar voor het publiek. In Zweden maakte Ericsson een hand combinatie voor operatoren in 1884 en voor het publiek in 1892. De Duitse firma Mix en Genest bracht de telemicrofoon op de markt in 1897. Handcombinaties werden ook door Western Electric gemaakt voor gebruik in het Bell Telephone System, maar ze vonden weinig toepassing vanwege de eisen gesteld door de vele lange afstand verbindingen. Dat electronische versterkers in 1914 beschikbaar kwamen, maakte de druk op de ontwerpers om tot een efficiënt ontwerp te komen niet minder. Pas na 1920 was er voldoende versterking om hoge kwaliteit voorrang te geven boven geluidssterkte.
Het gebruik van de bel voor de telefoon kwam al van Watson (1877). Ericsson patenteerde een microfoon met koolkorreltjes in 1888, de koolkorrels waren verdeeld over zes sectoren, om te voorkomen, dat ze teveel aan elkaar zouden plakken. Rond 1895 werd voorgesteld de abonnée microfoons vanuit een centrale batterij te bekrachtigen. In 1903 beschreef Ericsson zo'n systeem in een Zweeds[6)] patent, en hij paste het toe in een centrale voor Den Haag. Heaviside had in 1887 geschreven, dat het voordelig was, om de zelfinductie van kabels te verhogen, en in 1893 de toepassing van serie spoelen genoemd. In 1899 vroeg Pupin een patent aan, op het toevoegen van spoelen aan kabels op regelmatige afstanden. Ebeling en Dolazek van Siemens en Halske werkten aaan de praktische toepassing van "gepupiniseerde" kabels, en gebruikten deze in de omgeving van Berlijn en in 1906 bij de eerste telefoonkabel door de Bodensee tussen Friedrichshafen en Romanshorn. Er waren goede contacten met Pupin, en hij schreef in zijn autobiografie "Van schaapherder tot uitvinder". "Ik begreep mijn uitvinding nu veel beter dan tevoren, en de experts van Siemens ook. Hun gezond verstand leidde tot beschrijvingen, die beter waren dan de mijne". In 1912 volgde een grotere toepassing op de lijn Keulen-Berlijn, maar ten gevolge van de oorlog kwam die pas gereed in 1921. De resultaten waren uitstekend, en leidden tot toepassing in het groot europees kabelnet. Strowger vond in 1889 het eerste veel gebruikte automatische systeem uit, waarbij de schakelaars in twee richtingen bewegen (hef-draai kiezer). De eerste toepassing was in la Porte (Indiana), 1892[7)].
Strowger was begrafenisondernemer, en hij miste de technische achtergrond om zijn idee te realiseren, maar hij vond goede partners in A.E. Keith en de gebroeders Erickson. Siemens en Halske namen een licentie op het Strowger patent. Later nam Siemens een patent op een verbeterde uitvoering met een stap-schakel preselector in 1901. Hij installeerde zijn systeem in München in 1909 (2500 abonnee's), in Amsterdam in 1911[8)], en in Dresden in 1912.
Of men een gewenste telefoonverbinding kan realiseren op een gegeven tijdstip is een kwestie van toeval. Gedurende de eerste twintig jaar van deze eeuw werden de daarbij betrokken waarschijnlijkheids problemen bestudeerd door Erlang (Denemarken), wiens werk meer aandacht kreeg na publicatie in een Engels blad[9)]. Hij berekende de waarschijnlijkheid van blokkering als functie van het aantal lijnen en het verkeersaanbod. Ter ere van hem introduceerde het C.C.I.T.T. (het adviesorgaan van de Internationale Telecommunicatie Unie voor telefonie en telegrafie), de eenheid "Erlang". Het verkeer in Erlang is gelijk aan het gemiddeld aantal lijnen, dat bezet gevonden wordt bij een waarneming. Erlang begon met Poisson verdeling van de waarschijnlijkheid, dat juist x lijnen bezet zijn. Engset, een Noors mathematicus, ging uit van een Bernoulli distributie. Een kritisch onderzoek van de geldigheid van Erlang's en Engset's formules werd gedaan in de proefschriften van Kosten (Delft, 1942) en Palme (Stockholm, 1943).

1.4 Draadloze telegrafie

Gugliemo Marconi werd op 25 april 1874 in Bologna geboren. Hij studeerde natuurkunde in Livorno bij professor Roza, en las de artikelen van Righi Branly en Hertz. In het begin van 1895 deed hij experimenten om te zien, of hij telegrafietekens over een bepaalde afstand kon overbrengen met behulp van Hertz golven. Hij gebruikte een Branly coherer met nikkel en zilver slijpsels tussen twee zilveren contacten in een buisje. In augustus 1895 ontdekte hij, dat hij door de vonkenbrug te verbinden met een draad of capaciteit boven de grond, en het andere einde met aarde, de afstand, waarover hij kon communiceren, vergrootte. Met kubussen met zijden van 100 cm. op een hoogte van 8 m. kon hij 2400 m. in alle richtingen bestrijken. In september 1896 deed hij experimenten in

Engeland, waar hij in Salisbury 3200 m. bereikte, gevolgd door 7 km. in maart 1897 en in mei 16 km.[10].
Dit werd bevestigd door ambtenaren van de Britse regering. In 1897 en 1899 deed Marconi experimenten voor de Italiaanse vloot, die in 1898 besloot het Marconi systeem te gaan volgen. Op 27 maart 1899 maakte Marconi draadloos contact tussen Wimereux in Frankrijk en South Foreland in Engeland. In 1898 had Marconi al opgemerkt, dat hij verder kon komen door zender en ontvanger op dezelfde golflengte af te stemmen. Marconi maakte capaciteit en zelfinductie variabel, om de beste afstemming te kunnen vinden. Dit leidde in 1900 tot zijn patent 7777. Wel had Sir Oliver Lodge ook een patent op afstemming, maar deze had geen experimenteel bewijs voor het nut ervan over gelegd. Later gaf dit patent toch moeilijkheden, om Marconi's patent in de Verenigde Staten te verkrijgen, waarop Marconi het patent van Lodge aankocht. Verschillende demonstraties van Marconi werden door vooraanstaande deskundigen uit andere landen bijgewoond, bijv. prof. Slaby van de Technische Hogeschool in Berlijn, die met graaf von Arco en professor Braun samenwerkte aan seaadloze telegrafie in Duitsland. Marconi vond ook experimenteel, dat de propagatie over zee beter was dan over land. In 1900 gaf de Engelse vloot Marconi een belangrijk contract. In januari 1901 deed Marconi succesvolle experimenten aan de Zuidkust van Engeland tussen St. Catherine's Point op het eiland Wight en The Lizard in Cornwall, over een afstand van 335 km. De hoogte van de antennes was daarbij slechts 100 meter, terwijl voor direct zicht een hoogte van 1600 m. nodig zou zijn. Daaruit concludeerde Marconi, dat zijn electrische golven de kromming van de aarde konden volgen. In principe was een verbinding tussen Europa en Amerika dus niet uitgesloten. Hij liet grote antennes bouwen aan weerszijden van de oceaan, maar nog voor de experimenten konden beginnen, werden ze door stormen verwoest. In Poldhu werd een nieuwe antenne gebouwd: tussen twee 48 m. hoge palen werd een draad van 60 m. lengte gespannen, die door 50 koperdraden met een punt op de grond, midden tussen de palen verbonden waren, dus een soort waaiervorm. Fleming, adviseur van Marconi, schatte het vermogen op 10 tot 12 KW. Met twee assistenten ging Marconi naar Newfoundland, waar op Signal Hill, 200 meter boven de haven een leeg militair hospitaal beschikbaar gesteld was. Een vlieger werd opgelaten met 170 m. antennedraad eraan. Op 12 december stormde het en men hoorde een hele tijd niets. Marconi had eerst[11] een afgestemde ontvanger geprobeerd, maar toen hij daarmee geen succes had, ging hij over op een eenvoudige onafgestemde ontvanger. Plotseling, om 12.30 uur Newfoundlandtijd, gaf Marconi de koptelefoon aan zijn assistent, Mr. Kemp, met de vraag: "Hoort U iets, Mr. Kemp?". Kemp luisterde en hoorde tussen veel storingen de afgesproken drie clicks van de Morse letter s, gevolgd door een pauze, en dan weer drie clicks, maar spoedig ging het signaal weer verloren in storingen. Op de volgende dag werd het weer nog slechter, maar gedurende korte perioden werden weer zwakke signalen gehoord. Marconi vertelde later, dat zijn andere assistent, Mr. Paget, het signaal niet gehoord had, maar hij voegde daaraan toe, dat die een beetje doof was. Marconi's latere mededeling, dat de golflengte 366 meter was, maar dit, achteraf gezien, heel ongunstig, omdat het pad bijna geheel in daglicht verliep. In een latere mededeling ter gelegenheid van de vijftigste gedenkdag van de eerste uitzending, geeft Fiore[12] de golflengte op als 1800m. De aantekeningen van Marconi over de experimenten zijn ook uiterst beknopt: ontvangstproeven om 12.30, 1.30 en enkele andere tijden. In het voorjaar van 1902 kwam de objectieve bevestiging van de mogelijkheid van de transatlantische verbinding. Het schip Philadelphia kreeg een vier draads antenne, 150 m. boven het dek. Men werkte met een afgestemde ontvanger en een conventionele coherer, de boodschappen werden op tape vastgelegd met inkt, en de kapitein signeerde de resultaten. Op 1130 km. ontving men de signalen in helder daglicht, en 's nachts tot 2500 km. De letter s werd tot op 3380 km. gehoord. Marconi dacht al aan invloed van de zon op de propagatie, en in hetzelfde jaar 1902, maakten Kennely en Heaviside de hypothese, dat een geioniseerde laag in de atmosfeer ervoor verantwoordelijk was, dat de golven werden afgebogen.
Eind 1902 hadden zeventig schepen draadloze telegrafie, en er waren 25 landstations geïnstalleerd. Onder de schepen waren de grote Duitse "Kaiser Wilhelm der Grosse" en "Kronprinz Wilhelm", en de Hollandse kruiser "Evertsen". Borkum en Scheveningen behoorden tot de grondstations. Italië bestelde een hoog vermogen station voor Coltano in 1903. In 1902 patenteerde Marconi, voortbouwend op werk van Henry, Wilson en Rutherford een magnetische detector. Het was een cyclische hysteresis detector[13], waarin een band van zacht ijzer langzaam langs de polen van tegen elkaar in gerichte magneten liep. Een oscillerende stroom, die door een spoel loopt, heeft het effect de domeinen te bewegen, zodat een luide klik gehoord wordt in een koptelefoon, die met een zoekspoel verbonden is. Deze detector was veel gevoeliger dan de coherer en bleef tot 1918 in gebruik. In juni 1902 kwam koning Victor Emanuel III naar Engeland, om de kroning van koning Edward VII bij te wonen. Deze werd echter uitgesteld wegens ziekte van Edward, en Victor Emmanuel besloot een bezoek aan Alexander III van Rusland te brengen. Hij nodigde Marconi uit hem te vergezellen en onderweg draadloze telegrafie te demonstreren. Een golflengte van 1100 m. werd gebruikt. Aan boord had men een vierdraads kooi antenne, afgestemde apparatuur en een magnetische detector. De apparatuur werkte perfect, en de signalen van Poldhu werden na het invallen van de duisternis in Kronstadt ontvangen, 2500 km. ver. Daar kwam ook Popov aan boord, die Marconi heel vriendelijk begroette als "de vader van de radio". Na de kroning voer de Carlo Alberto met de koning en Marconi weer terug naar Italië.

De Italiaanse regering stelde de "Carlo Alberto" direct daarna ter beschikking van Marconi om in de Atlantische Oceaan met draadloze telegrafie te experimenteren. Het schip had de volledige bemanning van 600 man aan boord. Tot in Nova Scotia werden de signalen van Poldhu goed ontvangen (bij nacht). In december 1902, en januari 1903 werd een transatlantische telegraafdienst geopend, vanaf Glace Bay, Canada en Cape Cod, Ver. Staten. Er waren echter nog vele moeilijkheden te overwinnen, en in 1903 werd de dienst voorlopig weer gesloten. In 1904 vond Fleming de diode uit. In 1905 vond Marconi de richtantenne. In 1906 vond Franklin de variabele plaat condensator uit, ook in zijn drievoudige uitvoering, voor eenvoudige gelijkloop. In 1901 stichtte Marconi een school voor draadloze telegrafie operators, die in dienst van zijn bedrijf bleven, wanneer ze op schepen werden geplaatst. In die tijd kwam Marconi dicht bij een monopolie positie door het grote aantal stations, schepen en operatoren. Soms beantwoorden zijn stations de oproepen van schepen niet, die met een andere installatie werkten. In 1903 werd een internationale conferentie in Berlijn het eens over een voorstel, dat kuststations met alle schepen moesten zenden en ontvangen, en dat werd in Madrid in 1906 geratificeerd. Tot teleurstelling van Marconi trad Groot-Britannië in 1908 tot dit verdrag toe. In 1907 kwam het tot een definitieve transatlantische dienst tussen Clifden (Zuid-Ierland) en Glace Bay (Canada). Men ging daarbij naar steeds langere golflengten, bijv. 6000 of 6666 m. De gedempte trillingen van de vonkontlading leidden tot brede frequentiebanden. De roterende schijf ontlading, die Marconi in 1907 vond, was een verbetering: een metalen schijf draaide midden tussen en loodrecht op twee andere metalen schijven. De middelste schijf was door condensators en spoelen verbonden met de buitenste schijven. Toevoeging van hoogspanning leidt tot continue oscillaties, en wanneer men nog koperen knoppen op de middenschijf aanbrengt, wordt de golf periodiek onderbroken, en in de ontvanger hoort men een muzikale toon In 1909 kregen Marconi en Braun de Nobelprijs. In maart 1912 werd een contract getekend voor een keten van draadloze stations in het Britse wereldrijk, maar dit moest nog door het Lagerhuis goedgekeurd worden, en daarbij kwamen geruchten van corruptie naar boven. De Marconi Company kwam zonder directe schade uit de discussies, en een nieuw contract werd eind juli, begin augustus 1913 getekend en door het Lagerhuis goedgekeurd. Op 30 december 1914 werd dit contract wegens de oorlog opgezegd door de autoriteiten. Een grote schadepost, want er was al veel geld uitgegeven. Nadat Marconi de richtantenne had gevonden, kwamen Bellini en Tosi in 1907 met een radiogoniometer. Marconi nam hun patent over, mede wegens het belang voor de scheepvaart, en Bellini werd zijn adviseur. Valdemar Poulsen, een Deense ingenieur, vond een succesvolle boogzender uit, waarbij een vaste kool electrode tegenover een langzaam roterende kool-cylinder werd geplaatst, zodat de boog steeds een nieuw contactpunt kon vinden. (1903).

1.5 <u>Versterker buizen in kabel en radio telefonie</u>

In 1903 vroeg Robert von Lieben patent aan op een buis met verwarmde electrode en versterker karakteristiek. Zijn eerste uitvinding was een kathodestraalbuis, die via een magneetveld geregeld werd, en in 1906 een rooster gestuurde versterkerbuis (met Reiss en Strauss). In 1907 patenteerde Lee de Forest zijn Audion, maar Fleming vond het maar een variant op zijn diode patent, en daarover werd vele jaren geprocedeerd. In 1903 vond de Berlijnse professor Wehnelt de oxyd-kathode uit, die met indirecte verhitting later belangrijk zou zijn. Het gebruik van de hoogvacuum versterkerbuis werd door Langmuir in 1913 gepatenteerd. Eerder had men gedacht, dat de gas-ionen voor versterking nodig waren. In 1913 werden een aantal patenten genomen op triode oscillator schakelingen: Meissner, Franklin, Round en Armstrong namen patenten op ideeën, die vrij dicht bij elkaar lagen. In 1916 ontwikkelde Schottky de tetrode, met schermrooster.
Op 27 maart 1916 braken, tengevolge van een zware storm alle luchtlijn verbindingen tussen Londen en het Noorden van Engeland. De nieuwe kabelverbinding Londen-Birmingham-Liverpool, werd daardoor belangrijker. In Liverpool werden twee versterkers geïnstalleerd voor de verbindingen met Dublin en Belfast, en in Birmingham vier versterkers in mei 1916. Gedurende de oorlog slaagde Colonel (later generaal) Ferrié er in, radiobuizen te fabriceren in serie met uniforme karakteristieken, die als de Franse buis bekend werden. Aan de andere zijde werden verbindingen met versterkers gebouwd tussen Charleroi en Boekarest, en tussen Berlijn en Constantinopel. In Nederland werd een fabriek van telegraaf apparaten opgericht in 1917, omdat de oorlogvoerende landen niet de apparaten wilden leveren, die de scheepvaart nodig had. Philips maakte eenvoudige triodes in 1917 en zendtriodes in 1919. In 1922 belastte Philips Balth van der Pol met het radioonderzoek. Hij had in Engeland bij Fleming en J.J.Thomson gewerkt, en ook samen met Appleton aan tiode-theorie. Binnen en jaar demonstreerde hij een 200 kW zender met acht buizen in Carnaervon aan de Engelse autoriteiten, en een 50 kW één-buiszender aan generaal Ferrié. Hij gebruikte chroomijzer anodes, die gemakkelijk water-gekoeld konden worden, omdat de uitzettingscoëfficiënt van glas en chroomijzer gelijk was. Tellegen introduceerde een derde rooster om de secundaire electronen tegen te houden. Zijn pentode (1926) was een belangrijke verbetering. In 1928 vonden Black en Posthumus onafhankelijk van elkaar het principe van de negatieve terugkoppeling uit. Black's patent vond in de telefonie ruimere toepassing. Van der Pol's werk over relaxatietrillingen is welbekend, evenals zijn bijdrage tot de theorie van niet-lineaire schakelingen, tot de theorie van de radio voortplanting (met Bremmer) en tot frequentie-modulatie. Marconi had opgemerkt, dat het effect van het daglicht minder was bij

lange golven, en golflengten tussen 3000 en 2000 meter geprobeerd. Tijdens de oorlog vroeg hij zich af, of hij niet op een doodlopende weg zat, door zich hiertoe te beperken. Hij voerde daarom een serie onderzoekingen uit met veel kortere golven aan boord van zijn jacht "Elettra". Hij gebruikte richtantennes voor golflengten tussen 20 en 92 meter. Met 12 kW bereikte hij afstanden van 10.000 km. bij nacht en 2500 km. overdag (proeven tussen 1921 en 1924). In 1926 werd een systeem van 20 kW zenders opgebouwd in Londen voor radio telegrafie, en voorlopig experimenteel radio telefonie, met het Britse Rijk en de rest van de wereld. Er was concurrentie tussen kabel- en draadloze verbindingen, en de regering raadde een fusie aan. Cable and Wireless Ltd. werd gevormd met 43.75% stemrechten voor Marconi. Een aanbod van de nieuwe firma, om de verbindingen met het Britse Rijk te verzorgen, werd door het Post Office afgeslagen, omdat dit een eigen onafhankelijk netwerk wilde hebben.
Numans en van der Pol installeerden een radiotelefoon verbinding tussen Nederland en Nederlands Oost- en West-Indië in maart 1927. Van 1919 af, was er een twee-wegs radiotelegrafie verbinding met Oost-Indië. In 1933 kwam er enkel-zijband telefonie op de verbinding met Nederlands-Indië mogelijk de eerste keer over dergelijke afstanden. In verband met het gebruik van steeds hogere frequenties besteedde Posthumus, bij Philips aandacht aan het functioneren van het magnetron. Zijn fundamentele uiteenzettingen over het magnetron met gespleten anode, zouden later in verband met radar belangrijk zijn.

2. Ontwikkelingen na 1920.

2.1 Multiplex-Phantoon en draaggolf verbindingen op kabel en microgolf verbindingen. FDM,PCM,TDM.

De eerste methode om extra verbindingen te krijgen op een multipair telefoon of telegraaf kabel of bij een open draadverbinding op palen, was de beide draden van een tweedraadsnetwerk parallel te gebruiken als een geleider of phantoon. Uitgevonden in 1882 werd het in de Ver. Staten op open lijnen en in Europa op kabels gebruikt. In Engeland werden phantoom verbindingen van 1898 af gebruikt voor Leeds-Hull, en Londen-Bristol. Omstreeks 1911 had de Engelse post 236 phantoom verbindingen, waaronder Londen-Liverpool en Londen-Glasgow (600km.). Ook bij kabels met spoelen werd de phantoom methode toegepast, bijv. op de onderzeekabel Engeland-Holland, en door het Kanaal. In Duitsland werd het phantoom principe gebruikt op Berlijn-Wenen en Berlijn-Boedepast. In 1898 waren er 19 phantoom verbindingen, 3553 km. lang[14].
In 1908 liet Ernst Ruhmer in Berlijn zien, hoe men met draaggolf telefonie vier gesprekken over een paar draden kan zenden. In de Verenigde Staten kwam het eerste commerciële draaggolf systeem tot stand in 1918 tussen Baltimore en Pittsburgh. Er waren vier twee-wegs draaggolf kanalen beschikbaar tussen 5 en 25 kHz. In 1930 werd de zeekabel tussen Stralsund en Malmö in capaciteit verdubbeld door gebruik van een draaggolf frequentie. In Engeland werden de eerste draaggolfsystemen geïnstalleerd in 1932-33.
Ze gaven één draaggolf boven de audioband op open lijnen. Vanaf 1936 was 12 kanaal apparatuur er verkrijgbaar. Tussen 1935 en 1936 werd de mogelijkheid geschapen over een coaxiale kabel tussen Berlijn en Leipzig 200 gesprekken tegelijk te voeren. Op 25 maart 1936 werden videofoon voor het publiek tussen deze beide steden mogelijk. Bij Philips werd vanaf 1938 een 18 kanaal draaggolf systeem ontwikkeld voor het Australische traject Sydney-Maitland. Het was gemakkelijk extra frequenties bij te zetten door gebruik te maken van een paar transformators en vier koperoxide of selenium gelijkrichters. Omdat het netwerk gebalanceerd was ten opzichte van de draaggolf, kon men die voor signalering gebruiken. Het project kwam niet gereed voor Nederland in de oorlog werd betrokken en moest in Australië voltooid worden. In 1938 werd een internationaal accoord bereikt over bandbreedtes en frequentie afstanden. Draaggolf systeem nr. 7 werd in gebruik genomen in Engeland, 1940-'41. Een groep van 12 kanalen in de frequentieband 60-108 kHz kon via een 120 kHz draaggolf overgebracht naar 12-60 kHz. Rond 1950 had men op deze manier 24 kanalen op de meeste routes[15]. Later ging men 10 supergroepen gebruiken (600 verbindingen) met draaggolven tussen 60 en 2540 kHz. Men gebruikte versterkers op 9.6 km. afstand op coaxiale kabels van 2.6/9.5 mm. In 1951 werd een 4 MHz coaxiaal kabel systeem geïntroduceerd (960 verbindingen) en in 1960 een 12 MHz coaxiaal systeem met 2700 verbindingen, die toen in het algemeen buis versterkers hadden. In 1960 werd het eerste getransistoriseerde coaxiale systeem in gebruik genomen tussen Hastings en Eastbourne, met 300 verbindingen tussen 60 en 1300 kHz. In 1967 had men 4 MHz transistor systemen, gevolgd door 12 MHz in 1971 en 60 MHz (10.800 kanalen), in 1973.
In Nederland gebruikte men drie spraakkanalen op een open draad verbinding tussen den Haag en Groningen in 1923. In 1931 kwamen extra draaggolf kanalen beschikbaar op de zeekabel Nederland-Engeland. In 1936 introduceerde de Nederlandse PTT een 12-kanaal systeem met een versterker afstand van 60 km. Van 1948 af, werd een 48 kanaal systeem vervaardigd, in samenwerking met Philips en Standard Electric. In 1962 werden twee 120 kanaal systemen geïnstalleerd met versterker afstanden van 6 km. In 1954 volgde een coaxiale kabel met 960 kanalen op de lijn Amsterdam-Haarlem, en in 1973 volgden drie coaxiale paren tussen Amsterdam en den Haag met uiteindelijk 10.800 kanalen.
De eerste microgolf multiplex telefoon verbinding was Calais-Dover in 1931. Het microgolfnet voor Eurovisie en frequentie modulatieomroep, leidde in een groot aantal Europese landen tot het bouwen van torens, die ook voor microgolftelefonie gebruikt konden worden. In Nederland leidde dit tot een verbinding over de Schelde tussen

Terneuzen en Goes in 1950. In 1978 verbond een microgolfnet alle Nederlandse districten.
Pulse code modulatie werd in 1937 gevonden door de Engelsman Reeves, die toen bij het Parijse laboratorium van I.T.T. werkte. Reeves kwam naar Engeland terug in 1940. Deloraine, zijn baas bij L.C.T. ging naar de Verenigde Staten, waar de militairen geïnteresseerd waren. Een experimentele order werd bij de Bell laboratoria geplaatst. Aan het eind van de oorlog was een volledig 24-kanaals systeem in gebruik bij het Amerikaans leger te velde. Deloraine keerde naar Frankrijk terug en vond in 1945 tijd-divisie multiplex uit. Ook hier kwamen de eerste toepassingen in de militaire sector. In 1962 werd al een TDM centrale voorgesteld, maar het zou tot 1969 duren voor proeven op grote schaal werden genomen (systeem Rita). In Engeland werd een PAM-TDM systeem voor 600 lijnen geprobeerd in Highgate Wood, 1963. Het was geen onverdeeld succes, o.a. omdat de radiobuizen betrouwbaarheidsproblemen opleverden. Algemeen gebruik moest wachten op betrouwbare transistors en geïntegreerde schakelingen. In 1965 probeerde Italië het eerste Europese 24-kanaal PCM systeem. In Engeland was het eerste digitale systeem in 1968 ook 24-kanaal PCM (1.536 Mb/s). Het Nationaal Centrum voor Studie van Telecommunicatie (CNET), opgericht in 1944, om Frankrijk bij de vooraanstaande landen op dit gebied te brengen, en daarin ook succesvol, begon zijn studies over electronisch schakelen in 1965, en in 1970 bediende een experimenteel systeem "Platon" alle 50.000 abonnée's in de omgeving van Lannion, waar een van de grote CNET laboratoria gevestigd is. Op basis hiervan werd het E-10 systeem in het Franse net geïntroduceerd in 1972. In Frankrijk groeide een modern net, met in 1983 4.3 miljoen E-10 lijnen. CIT Alcatel leverde dit TDM systeem aan 34 landen.
Marconi gebruikte in 1932 microgolven, om het Vaticaan met Castel Gandolfo te verbinden. Prof. Vecchiacchi experimenteerde in 1937 in Italië met een golflengte van 1.50 m. voor de verbinding van Milaan met Rome. Een eerste versie kwam in 1941 klaar. In 1947 volgde een brede band verbinding op 30 cm. tussen Milaan en Turijn. Verbindingen over het hele land kwamen in 1957 gereed (960 kanalen) en werden in 1961 tot 2700 kanalen uitgebreid. Thomson C.S.F. in Frankrijk en GEC Comm. in Engeland, organiseerden een nationaal radio -telefonie-systeem van 140 Mb/s in de 11 GHz band (1983). In Amerika was het eerste transcontinentale radio-telefonie-systeem TD2 van het Bell System in 1951, TD2 gebruikte 4 GHz en versterkers op direct zicht afstand (50 à 60 km.).
In 1962 volgde het PCM-transmission systeem, genoemd T1-Carrier. In 1976 was een groot digital trunk switching system 4 ESS in gebruik genomen.

2.2 Automatisch schakelen: Electromechanisch- en electronisch.

Bij het reeds genoemde Strowger systeem, moest men eerst een knop evenveel maal indrukken, als het aantal honderdtallen, daarna een tweede knop evenveel maal als er tientallen waren, tenslotte een knop voor de resterende eenheden, en een vierde knop om de uitgangstoestand te herstellen. De uitvinding van de draaischijf in 1896 was een grote verbetering. In 1908 ontwikkelde Mc Berthy het rotatie systeem, waarbij twee draaischakelaars gebruikt werden. Dit zou in hoofdzaak bij Bell, Antwerpen gefabriceerd worden. Darlington en Birmingham kregen dit systeem in 1915. In 1922 werd een verbeterd Strowger systeem, het "director" systeem ingevoerd in Londen ingevoerd. De draaischijf controleert register vertalers. De eerste drie cijfers geven de route informatie. De "director" genereert pulse treinen, die de volgende schakel operaties controleren. In 1923 richtte Siemens een volledig automatische centrale voor meerdere steden in, in Weilheim. In 1910 had de Zweedse administratie een aantal fabrieken "Televerket" genaamd, en ze zocht een eigen systeem voor de automatisering van het Stockholm net. Betulander en Palmer hadden een register gecontroleerd relais systeem ontwikkeld voor kleine centrales. Om dit uit te breiden tot de capaciteit nodig voor grotere centrales, bedachten ze een tweetraps systeem. De A-trap heeft k-groepen van n-schakelaars met een capaciteit m-lijnen, en de B-groep heeft m-groepen van k-schakelaars met een capaciteit van h-lijnen. De "merkers" zoeken een vrij pad door de trappen, en maken de verbinding. Zo'n "link"-systeem was erg geschikt om cross-bar (kruisstang) schakelaars te gebruiken. In oktober 1919 werd het eerste kruisstang systeem gedemonstreerd. Hultman van Televerket vond het tweedimensionale blanke draad systeem uit (1915). Dit leidde tot het door de machine aangedreven, en door registers gecontroleerde 500 schakelaar systeem, dat in 1920 gekozen werd voor centrales in Stockholm en Gothenburg. In mei 1923 werd het in Rotterdam geïnstalleerd. Toen Mathies van Bell in 1930 Zweden bezocht, zag hij een kruisstang systeem, als eenheid gebouwd, met contacten uit edel metaal. Deze schakelaars bevatten 100 kruispunten in een 10x10 matrix. Vijf keuze staven werden door afzonderlijke magneten in twee richtingen gedraaid om contact te maken met tien verzamelingen van kruispunten. Reynolds had bij Bell in 1913 een soortgelijk idee gehad, dat de Zweedse onderzoekers op het goede spoor zette, maar pas nadat de aandacht op de Zweedse ontwikkeling gevallen was, maakte Bell een nieuwe studie van het kruisstang systeem, dat in 1935 tot commerciële toepassing voerde. Na 1945 ging LM Ericsson steeds meer kruisstang schakelaars produceren. In 1975 overtrof de jaarproduktie 500.000 schakelaars. Het was niet gemakkelijk de bijbehorende verkeerscapaciteit te bepalen. Conny Palm had enig succes hiermee, maar de diepgaande studies van Jacobaeus leidde tot standaard methodes, die ook elders

gebruikt werden (IEEE gaf hem er de Alexander Graham Bell medaille voor). In 1950 bestelde de Finse hoofdstad Helsinkikruisstang apparatuur in verband met de Olympische Spelen van 1952. Rotterdam introduceerde meertraps kruisstang apparatuur in zijn 500 schakelaar centrales in 1952. Men kreeg ook grote orders uit Denemarken. De doorbraak van het kruisstang systeem was van beslissende invloed op de hernieuwde ontplooiing van de Ericsson groep nadat ze door de Ivar Kreuger ineenstorting van 1932 in moeilijkheden kwam. De gemeenschappelijke interesse van L.M. Ericsson en Televerket in electronisch schakelen, leidde in 1956 tot een vorm van samenwerking en in 1971 tot een nieuwe firma ELLEMTEL, die een semi-electronisch systeem (200-800 aansluitingen) moest ontwikkelen en een lokaal centraal systeem, dat door een computer programma gecontroleerd moest worden.
In 1959 ontving LME's Noord Amerikaanse afdeling, North Electric Company een opdracht voor een geheel electronische centrale ten behoeve van een tactisch communicatie systeem van de luchtmacht. Het 412-L project was een grote vooruitgang, en tien jaar later kreeg NEC een vervolgopdracht. De eerste SPC centrale met multiprocessors werd in Rotterdam geleverd in 1971.
Vanaf 1970 was er een sterke tendens in Europa om van electromechanische op electronische schakelvormen over te gaan. In 1972 publiceerde Zwitserland zijn plannen voor een geïntegreerd PCM schakelsysteem met SPC (computer controle). Frankrijk had in 1950 meestal roterende schakelcentrales, die te langzaam waren. In 1955 vroeg de Franse PTT aanbiedingen van nieuwe systemen. De Franse onderafdelingen van ITT stelden een nieuw systeem voor, dat omdat de fundamentele eenheid 50 ingangen had, Pentaconta genoemd werd. Ericsson, Frankrijk, bedacht een eigen kruisstang systeem CP400. In 1956 na proefnemingen werd CP400 als standaard aanvaard voor de provincie, op voorwaarde, dat CIT-Alcatel het ook zou mogen maken. Pentaconta werd aanvaard voor Parijs en andere grote steden.
In 1975 vroeg de administratie aanbiedingen voor een ruimtelijk schakelsysteem. Gekozen werden het Zweedse systeem AXE en het Metaconta systeem van ITT. In 1978 kocht Thomson een van de ITT maatschappijen LMT en de Franse Ericsson. De eerste AXE kwam in gebruik in juni 1979 in Orléans en de Metaconta 11F in Clamart, september 1979. CIT Alcatel voegde SPC (computer controle) toe, aan de E10 centrales. In 1965 introduceerde Engeland electronische systemen met trilstaaf (reed) schakelaars, zoals het TXE2 systeem, waarvan er 1200 in gebruik waren in 1981. Naast dit vrij kleine systeem kwam in 1976 de TXE4, het eerst in Sutton Coldfield, met 5000 lijnen. Terwijl TXE2 een gezamenlijk initiatief was van de administratie en de industrie, was TXE4 een initiatief van Standard Telephone and Cables. Later kwam nog TXE4A, die ook nog moest kunnen werken met de later te verwachten geheel electronische centrales. In Nederland werd in de zestiger jaren een geheel electronische centraler beproefd, de ETSIII van Philips. Toen was de conclusie, dat de trilstaaf relais meer beloofden in de nabije toekomst. Tenslotte heeft de samenwerking tussen Philips en AT&T geleid tot de introductie van de ESS5 PRX als een gezamenlijk project.
In Italië bestudeerde Pace-Standard Labs. verbetering van het Pentaconta systeem met microprocessor controle. Face onderzocht ook het samenwerken van analoge en digitale systemen voor gebruik in Bologna. Dergelijke studies deed ook Telettra. Italtel ontwikkelde het Proteo systeem, een digitaal systeem, geïnstalleerd in meer dan 50 publieke centrales en meer dan 130.000 abonneelijnen verzorgend in 1981.
In West-Duitsland ontwikkelde Siemens de roterende selector met edelmetaal contacten, en ook de trilstaaf met edel metaal contacten, EMD en ESK. In 1974 kwam de computer gecontroleerde electronische centrale EWS op de markt, en in 1979 de meer geavanceerde EMS. In de DDR werd het electronisch telefoon schakel systeem ENSAD ontwikkeld, samen met de USSR.

2.3 <u>Telex-HF radio telefonie, satellieten.</u>
Voor telex geïntroduceerd werd in het telefoonnet, bestonden er al analoge mogelijkheden in de telegrafie. In 1919 had Siemens een snel telegraafnet over geheel Europa. In 1927 maakte Lorenz een telex machine onder Amerikaanse licentie. De Bundespost had zijn eerste telexlijn tussen Hamburg en Berlijn in 1933 en een nationaal telexnet in 1935. In 1950 waren er 4000 telexabonnee's in de Bondsrepubliek, in 1972 8000 en in 1980 130.000.
Siemens bouwde 100.000 teletypewriters in 1958, 250.000 in 1967 en 400.000 in 1980. Over de hele wereld waren er ongeveer 1200.000 in 1980. In 1934 werden tien landen het eens over een internationaal telexnet bij een conferentie in Praag. Zweden had 4000 telexabonnee's in 1965, 12.000 in 1977 en verwacht 30.000 in 1990. Engeland had 90.000 telexabonnee's in 1980. In Nederland kwam telex in 1932, en een apart telexnet verscheen in 1954. In het begin werd de radiotelefonie dienst ook gebruikt voor telex over lange afstanden, maar er waren soms veel fouten, als gevolg van fading. Van Duuren's automatische herhaling op aanvraag (ARQ) was van groot belang voor betere telex ontvangst. Zijn alfabet had 35 letters, alle combinaties van 4 énen en drie nullen waren toelaatbaar, en alle andere combinaties veroorzaakten een verzoek tot herhaling. Van Duuren vond het systeem uit gedurende de tweede wereldoorlog, en publiceerde het in 1946. Het werd voor veel internationale verbindingen gebruikt, en door het CCIR in 1956 gestandaardiseerd. In 1970 werden 700 telegraaf- en telex kanalen van het Verenigd Koninkrijk door ARQ beschermd.
Vanaf 1930 was er een sterke tendens om enkel zijband te gebruiken voor radio telefonie (ook een CCIR aanbeveling). In 1939 was er al een enkel zijband verbinding tussen de Verenigde Staten en het Verenigd Koninkrijk, en in 1952

waren er meerdere kanalen. Veel schepen hadden radio telefoondienst. Het Post-Office station in Rugby had 28 zenders in 1956. Een ontvang station werd geïnstalleerd in Bearly, bij Stratford on Avon. Het hoogfrequent antenne systeem bestond uit 30 rhombische antennes. Het hele systeem gaf complete azimuthale dekking tot 27 MHz, met dubbele diversity. HF radio bereikte zijn piek in Engeland in 1969 met 350 telegraaf en 87 telefoon verbindingen. Het Lincomplex systeem (Linked compressor and expander), door Watt-Carter en Wheeler van het Britse Post Office beschreven in 1966, verbeterde de kwaliteit van de HF radio telefonie belangrijk. Troposcatter werd door Marconi in 1934 ontdekt. Hij vond sterke signalen op 57 cm. op een afstand van 270 km., terwijl de direct zicht afstand 106 km. was. De wetenschappelijke verklaring kwam veel later. Troposcatter werd in Europa voor militaire doeleinden gebruikt door SHAPE, de research tak van de NATO. In Engeland werden experimenten gedaan op 876,5, 950 MHz en 1370 MHzen toepassingen werden gevonden in telefonie en data diensten tussen Engeland en de olie platforms in de Noordzee[16).]
Radio propagatie was een van de vele onderwerpen bestudeerd door de Internationale Unie van de Radio Wetenschap, die in 1919 in Brussel gesticht werd, als opvolger van het internationale comité voor draadloze wetenschappelijke telegrafie van 1913. Oorspronkelijk had deze organisatie een sterk Europees accent, zoals blijkt uit de lijst van de eerste presidenten: Generaal Ferrié, Sir Edward Appleton en père Lejay. Appleton ontving de Nobelprijs voor zijn ionosfeer werk. Van der Pol deed veel voor de URSI als voorzitter van de Commissie voor Golven en Netwerken, en werd later erepresident.
Voor Transatlantische telefonie was het gebruik van versterkers een probleem. Een pentode buis met lang leven werd ontwikkeld in het Engelse PTT Laboratorium in Dollis Hill. Deze type 6P12 buis had een passieve cathodekern van platina, electrode afstanden geschikt voor lage spanningen, en bovendien werden alle metalen delen zo goed mogelijk ontgast. De eerste transatlantische telefoonkabel TAT1 werd in 1956 gelegd en in gebruik genomen. Tussen Newfoundland en Nova Scotia had ze 16 versterkers. Later maakte de Britse PTT samen met STC een nieuwe buis de 10P en SER een subfirma van LME gebruikte passieve cathode alliages en levensduren van 100.000 uur in continue operatie. Drie lange afstands kabels werden gelegd tussen 1961 en 1966: CANTAT 1, Engeland-Canada; COMPAC, Vancouver-Sydney, met een lengte van 32.000 km. en in 1782 versterkers 4692 buizen; CAIRNS, Queensland-Singapore. De Lissabon-Zuid Afrika route had meer dan 600 versterkers en 3700 radiobuizen. Na 1968 vervingen de transistoren de buizen, b.v. in CANTAT2, een Brits 14MHz systeem; TAT6 tussen de Ver.Staten en Frankrijk 30 MHz en 4000 kanalen. Een Bits systeem met een top frequentie van 45 MHz heeft 5520 kanalen, en werd geprobeerd op Engeland-België in 1977. Over communicatie satellieten heb ik bij een vorige gelegenheid al gesproken. De negen Intelsat V satellieten hebben elk 27 omzetters, 12.000 telefoonkanalen en twee televisie-kanalen. Satellieten worden gelanceerd door de Ver. Staten, Frankrijk (Ariadne), Japan(NASDA), en de USSR. Siemens, Thomson CSF, NEC en verschillende Amerikaanse firma's, vooral Hughes Aircraft, kunnen de bijbehorende electronica leveren.

2.4 <u>Mobiele en data communicatie</u>

De groei van de mobiele telecommunicatie diensten maakt het nodig op efficiënt spectrum gebruik te letten. Een cellulair oppervlak voor de mobiele dienst is verdeeld in hexagonale cellen. De mobiele stations spreken met elkaar via de locale basis stations. Een "intelligente" schakelaar zorgt, dat de juiste verbindingen gemaakt worden. Aangrenzende cellen gebruiken verschillende frequenties, en de grootte van de cel hangt af van de abonneedichtheid. Het Nordische systeem (Denemarken, Finland, Noorwegen en Zweden), heeft vrij grote cellen. Een eis was, dat de frequentieband in alle vier landen beschikbaar moest zijn. Dit begrensde de keus tot 453-457.5 MHz en 463-467.5 MHz. Oproepen van en naar mobiele stations en naar vaste abonnee's moeten automatisch gemaakt kunnen worden. Dit vereist een speciale interface eenheid. De Duitse Bondsrepubliek is nu aan zijn derde systeem toe. Systeem B had 20.000 abonnee's en systeem C kan er 100.000 hebben. Er zijn 200 radio zônes met basis stations voor mobiele telefoon. Het auto-paging systeem in Zwitserland startte in 1952 en werd in 1968 uitgebreid. Tussen 1978 en 1980 werd een automatisch mobiel telefoon systeem NATEL geïnstalleerd, dat het gehele land overdekte. Hoewel frequenties zeer economisch gebruikt worden, is het eerste district Zürich al verzadigd. Het abonnee apparaat kan in de auto gemonteerd zijn of in een kleine doos worden meegenomen, en als een gewoon toestel gebruikt worden. In Nederland liet men zien, dat digitale spraak overgebracht kan worden met bestaande mobiele toestellen. Goede verstaanbaarheid wordt verkregen met 9600 b/s en digitaal geregelde delta modulatie. Om tot een meer efficiënt gebruik van het spectrum te komen, bedachten de Jager en Dekker de getemde frequentie modulatie, waarvan Correlatieve PSK een variant is. Men heeft er ook over gedacht persoonlijke automatische telefoons in te voeren in het cellulair systeem. Er moeten evenwel nog verschillende problemen opgelost worden voor dit gerealiseerd kan worden. Het "koordloze" systeem, waarbij een toestel via radio met de eigen hoofdaansluiting verbonden is, is bruikbaar voor korte afstanden. Mc Geehan e.a. hebben bij Bath University enkel zijband met een piloottoon in de band, compressie en expansie toegepast met voor spraak en data gunstige resultaten in mobiele communicatie. Varakin(USSR), heeft een gespreid spectrum techniek met pseudoruissignalen toegepast voor de overbrenging van spraak en data signalen in het mobiele 900 MHz spectrum. Zowel het mobiele

automatische telefoon systeem (MATS) van Philips en CIT-Alcatel, als AUTOPLEX van AT&T en een Japans systeem, passen adaptieve zender vermogen controle en diversity toe. In 1982 begon de internationale maritime satelliet organisatie (INMARSAT) satelliet communicatie met schepen, booreilanden, e.d. te verzorgen. 38 Landen zijn er lid van, w.o. de Ver. Staten, Sowjet Unie, Ver.Koninkrijk, Noorwegen en Japan de grootste scheepvaart landen zijn. Publieke data netwerken met pakket schakeling zijn over heel Europa verkrijgbaar. Euronet bedient de Europese Economische Gemeenschap met voorname knooppunten in Frankfurt, Londen, Parijs en Rome, en secundaire toegangs-punten in Amsterdam, Brussel, Kopenhagen, Dublin en Luxemburg. West-Duitsland heeft sinds 1967 een Datex netwerk, een geschakeld netwerk voor data transmissie. Sinds 1982 worden in verschillende steden proeven genomen met digitale systemen, zoals systeem 12 (ITT) en EWSD (Siemens). Vanaf 1985 worden proeven op grotere schaal verwacht. In Engeland bestaat een experimenteel pakket geschakeld systeem sinds 1977, eerst voor proeven, sinds 1980 ter beschikking van het publiek. Frankrijk heeft het Transpac pakket geschakeld netwerk sinds 1979 en het digitale netwerk op speciale lijnen TRANSMIC, dat in 1985 over heel Frankrijk toegankelijk zal zijn. Italië krijgt een pakket geschakeld data netwerk, met drie knooppunten, Rome - Milaan en Napels. Het Nordische pubieke data netwerk is volledig gesynchroniseerd, gebaseerd op TDM en sinds 1977 in gebruik. Canada heeft sinds 1973 Dataroute over gehuurde lijnen tussen 75 steden Datapac, een publiek pakket netwerk, sinds 1977 en Datapac International met 30 landen, sinds 1978. Het nationale informatie netwerk iNet wordt sinds 1983 beproefd. De Stratoroute 2000, ook in experimenteel gebruik geeft geïntegreerde spraak- en dataverbindingen via satelliet. In de Ver.Staten heeft men nu reeds vele satelliet data verbindingen, bijv. Westar en het AT&T digitale satellietnet.

3. Kijkend naar de toekomst.

3.1 SYSTEM X. Vanaf 1976 heeft de Engelse PTT een totale systeem strategie voor ontwikkelingen op telecommunicatie-gebied. Systeem X is een familie van door computers gecontroleerde digitale schakelsystemen, die aan alle toepasselijke CCIR aanbevelingen voldoen. Systeem X moet niet alleen de wensen van de administratie voor de toekomst denken, maar ook rekening houden met de overgangs-situatie, waarin oude en nieuwe apparatuur naast elkaar bestaat. G.E.C., Plessey en S.T.C. werkten met de PTT samen bij de creatie van het nieuwe Britse digitale schakel systeem, dat het eerst getoond werd gedurende Telecom 1979 in Genève. In 1979 besloot de regering Telecommunicatie aan het BPO te onttrekken, en de verantwoordelijkheid ervoor aan British Telecom te geven. In oktober 1982 trok STC zich terug van het Systeem X programma. Eén van de redenen was dat het ingenieuze produkt, aangepast als het was aan de hoge ontwikkelingsgraad van het Britse net, en dus vrij duur, geen buitenlandse markt had geopend. Men vroeg aan STC zijn contract voor een grote lokale centrale te vervullen tot herfst 1983. Aan de andere kant lieten Plessey en GEC de produktie van de TXE4 en 4A systemen geleidelijk aan STC over, zodat STC op dit gebied grotere orders kon krijgen. In 1980 werd de eerste Systeem X centrale in Londen geïnstalleerd. In 1986 hoopt men digitaal te kunnen schakelen op 60 grote trajecten en in 1990 hoopt men het analoog netwerk af te kunnen sluiten. 51% van de aandelen van British Telecom zijn ondertussen aan het publiek aangeboden. Een zakelijk georienteerde digitale dienst zal gehuurde punt - tot punt 64 kb/s dragers aanbieden en later ook geschakelde diensten. Dit heet Mercury netwerk. Plessey is nu de industriële leider van de systeem X ontwikkeling.

3.2 Systeem 12

ITT heeft in de wereld schakel apparatuur voor 60 miljoen lokale en meer dan drie miljoen langeafstandslijnen geïnstalleerd. De systeem 12 telefoon centrale heeft gedecentraliseerde processor controle en modulaire hardware en software struktuur. Standard Electrica Madrid werkt aan de introduktie van een geïntregeerd spraak data netwerk in Systeem 12. Men heeft er ook de lokale centrale ITT 1240 ontwikkeld, met volledig gedistribueerde controle, die zowel in een analoge als een digitale omgeving kan werken, en eventueel klein beginnend, gemakkelijk uit te breiden is. Naast de beide genoemde systemen, die nadrukkelijk op de toekomst mikken, hebben ook de reeds genoemde AXE, E10, ESS5, de Neax systemen van NEC, EWSD van Siemens goede mogelijkheden voor de toekomst.

3.3 Fiberoptica

In 1966 wezen Kao en Hockam van STL erop, dat de verzwakking van licht in optische fibers veroorzaakt werd door verontreinigingen, en dat de intrinsieke verliezen zeer laag waren. Al in 1970 gelukte het Corning Glass, single mode fibers te maken met verliezen van 20 dB/km. Dit leidde in vele landen tot sterke research inspanningen met goede resultaten. Het transatlantische telefoon systeem TAT 8 gebruikt 6650 km. fiber kabel om de Ver.Staten (Tuckerton) te verbinden met Engeland (Widemouth) en Frankrijk (Penmarch). 130 Opto-electronische versterkers staan op gem. afstanden van 50 km. monomode fiber. De versterkers hebben In Ga As P lasers en In Ga As detectors voor iedere fiber kanaal. Ongeveer 1500 lasers worden onder de oceaan geplaatst. Men werkt met een informatiesnelheid van 296 Mb/s. Het systeem heeft een capaciteit van 40.000 tweewegskanalen. Dit systeem werkt op 1300 nm, waar een relatief minimum in de verliezen optreedt. Een nog dieper minimum ligt bij 1550 nm. Daar is het mogelijk 2 Gb/s over te brengen over fiber lengten van 100 km. zonder versterking onderweg. Behalve vooruitgang in de fabrikage van monomode fibers, was ook gedis-

tribueerde terugkoppeling in de laser nodig, om te voorkomen, dat die op meer dan één frequentie oscilleert. Het aanbrengen van een ultrafijn rooster in de halfgeleider en het groeien van hoog kwaliteits kristal materiaal er over heen, is een moeilijke technologie. Het Heinrich Hertz Instituut in Berlijn, heeft al 1.21 GHz bandbreedte op optische kabel bereikt. In Engeland heeft men op geïnstalleerde kabels 560 kb/s gehaald. In Duitsland is een breedband optisch systeem geïnstalleerd in zes steden van de Bondsrepubliek en in West Berlijn. Men kan één videofoon aansluiting krijgen, 2 tot 4 kanalen televisie (voor 12 programma's), en 24 kanalen stereo radio. Optische golflengten van 850 en 1300 nm worden gebruikt. De tien Bigfon eilanden worden van Hamburg tot München met elkaar verbonden via monode fiber. In Frankrijk werden optische kabels ontwikkeld door CNET en Les Cables de Lyon, in Duitsland door SIECOR (Siemens-Corning Glass) en door Felten en Guillaume. In Italië Pirelli en in Nederland door Philips[12].

3.4 Nieuwe diensten

Teletext. In 1969 kwamen BBC ingenieurs op het idee de terugvlieg periodes van TV transmissie te gebruiken om een tijdschrift te distribueren. Deze dienst werd Ceefax genoemd. Later had de Independent Television Authority een eigen dienst. In 1974 werd overeenstemming bereikt over een beiderzijds aanvaardbare standaard voor teletekst. Omdat er een andere dienst is met de naam teletex, zou dit wel eens niet de definitieve naam kunnen zijn. "Broadcast videotex" is een mogelijkheid. In het Ver.Koninkrijk gebruikt men twee lijnen per veld voor deze dienst. De gemiddelde transmissie snelheid is 100 data lijnen per sec. Met 24 data lijnen per bladzijde wordt de transmissie snelheid 0.24 sec. per bladzijde of 24 sec. voor een tijdschrift van 100 pagina's. De gem. wachttijd wordt 12 sec. Door gebruik te maken van een geheugen kan het sneller. Viditel werd in 1970 door S.Fedida (BBC) uitgevonden. In 1974 werd de uitvoerbaarheid ervan gedemonstreerd. Een databank van 70.000 pagina's is mogelijk; dan kan iedere bladzijde in 2 sec. bereikt worden. De databank wordt per telefoon bereikt met 75 b/s, en geeft informatie terug met 1200 b/s. De Duitse "Bildschirm Text" startte in Berlijn en Düsseldorf in 1980. Prestel in Engeland heeft 250.000 pagina's informatie. De Nederlandse situatie is in dit tijdschrift recent besproken.

Teletex startte in de Bondsrepubliek in 1976. Er waren nog geen internationale regels. In november 1981 ging het verder onder internationale regels (CCITT). Bij een informatiesnelheid van 2400 b/s komt een A4 bladzijde over in 10 sec. Teletex is sneller en goedkoper dan telex.

Telefax werd in de Bondsrepubliek op 1 jan. 1969 geïntroduceerd. Toen leek transmissie via het telefoon netwerk en transmissie via een A4 pagina per minuut een redelijk doel. Als voor iedereen 64 kb/s bereikbaar wordt, kan men in 5 sec. een bladzijde overbrengen.

Andere diensten

Electronische overdracht van fondsen, teleconferenties, telemetry, televerkoop, telecontrole, alarm, videoconferentie, electronische gids, langzame t.v. voor bewaking, zijn enkele van de mogelijke diensten. Waar videoconferentie nog niet mogelijk is kan audioconferentie, evt. met een electronisch schrijfbord een uitweg bieden. In vele landen is de "smart card" nu verkrijgbaar voor telebetaling, en teleorder geven. Men gebruikt een minitel terminal, het geheugen van de kaart geeft de stand van de bankrekening aan, en slaat alle informatie in het geheugen op.[18]

3.5 Nieuwe ontwikkelingen. Esprit, Race, Eureka

Esprit is een acronym voor het Europese Strategische Programma voor Research en Ontwikkeling in Informatie Technologie. Het is gedacht als een tien jaren programma voor de industrie, de nationale regeringen en de research gemeenschap. In dit programma zijn een aantal punten ook direct van belang voor communicatie, zoals de ontwikkeling van submicron geïntegreerde schakelingen, de software technologie, signaal verwerking, kantoor systemen, mens-machine interactie, kantoor communicatie systemen [19]. Esprit bevordert werk, dat precompetitie in karakter is, maar waarvan markt mogelijkheden pas over 5 tot 10 jaar verwacht kunnen worden. In 1985 werden het Europees Parlement en de Ministers het erover eens, dat een soortgelijk onderzoek voor communicatie doeleinden gerechtvaardigd was. Dit leidde tot Research en Ontwikkeling in Advanced Communications-technologies in Europa, dus RACE[20]. Het doel is de introduktie in de gehele gemeenschap van geïntegreerde brede band communicatie tegen 1995. Snelle en complexe geïntegreerde schakelingen, geïntegreerde opto-electronica, brede band schakelen en speciale software zijn daarvoor nodig. Men verwacht, dat Artificial Intellegence technieken een rol kunnen spelen, bijv. door toepassing van expert systemen in het domein van de telecommunicatie. Een interessant systeem werd gedemonstreerd op de Telecom 1983 tentoonstelling in Genève. Een Engelsman sprak per telefoon met een Spanjaard. Ze kenden elkaars taal niet, maar beschikten over een snelle vertaalmachine. Een Engelse dame is in moeilijkheden op een Japans station. Ze kan haar probleem niet duidelijk maken aan de conducteur, die alleen Japans spreekt. Gelukkig is er een terminal voor beide beschikbaar. Ter verhoging van het effect had men de conducteur uit Japan over laten komen. Het gehoor was bij deze NEC demonstratie erg onder de indruk. Het werd wel iets minder, toen het een simulatie bleek te zijn. Toch is de vertaalmachine een idee, waarvan de direkteur van NEC de heer Kobayashi, hoopt de verwezenlijking binnen afzienbare tijd aan de mensheid te schenken. De details van het EUREKA project zijn niet bekend. Mogelijk wil men af van het precompetitieve karakter en de Europese industrie helpen bij meer directe problemen.

Referenties:

1) C. Berto: Télegraphes et Téléphones de Valmy au microprocesseur, Le Livre de Poche 542 pg., 1981.
2) R. Michaelis: From Semaphore to satellite, I.T.U. Geneva, Switzerland, 343 pg. 1965.
3) S.von Weiher: Tagebuch der Nachrichten Technik von 1600 bis zur Gegenwart, Verein Deutscher Elektrotechniker, 200 pg. 1980.
4) S.von Weiher und H.Goetzeler: Weg und Wirken der Siemens Werke im Fortschritt der Elektrotechnik, 1847-1980, Siemens AG, 197 pg. 1981.
5) C. Kobelt: 100 Jahre Telephon in der Schweiz, PTT Technische Mitteilungen vol.10, 338-440, 1980.
6) C. Jacobaeus: L.M. Ericsson, 100 years Evolution of the Technology, Interbook Publishing AB, 426 pg.1977.
7) M.D. Fagen, Ed.: A History of Engineering and Science in the Bell System. The Early Years (1875-1925). Bell Tel.Labs, 1073 pgs. 1975.
8) J.H. Schuilenga, J.D. Tours, J.G. Visser, J. Bruggeman: Honderd jaar Telefoon, Nederlandse PTT, 300 pg. 1981.
9) A.K. Erlang, Post Office Eng.J.vol.10, 189-197, 1918.
10) W.J.Baker: A History of the Marconi Company, Methuen, 414 pg.1970.
11) F. Crassa: On the 80th anniversary of the first transatlantic radio signal. IEEE Ant.Prop. Newsletter 11-19, december 1982.
12) P. Fiore: 50 Anni fa la grande vittoria di Marconi reprinted in: Cenni storici sulla Marconi Italiana. Review of Marconi Italianan, 1975.
13) V.J. Philips: Magnetic detectors of Hertzian waves. Proc.Inst.Elec.Eng. vol.126, 908-919, 1979.
14) D.G. Tucker: A technical history of phantom circuits. Proc.Inst.Elec.Eng. vol.126, 893-900, 1979.
15) P. Young: Power of Speech - A History of Standard Telephones and Cables, 1883-1983. Londen, G. Allen and Unwin, 221 pg.1983.
16) S.J. Hill: British Post Office transhorizon radio links serving offshore oil/gas production platforms. Radio and Elec.Eng. vol.50, 397-402, 1972.
17) J.O. Wedlake: Customer services for the next decade. 4th World Telecommunication Forum, part 2, 2.6.1, 1983.
18) J. Stratte-Mc Clure: French communications: exporting technical expertise. Sci.Amer.pg F1-F20, Oct. 1983.
19) Draft Council Decision adopting the 1985 work programme for ESPRIT. Official Journal of the European Communities C11, vol.28, 1-101, 1985.
20) Report of the Commission to the Council on RACE, Com(85) 145 final, March 1985.
21) H. Kogelnik: High Speed Lightwave Transmission in Optical Fibers, Science, vol.228, 1043-1048, 31-5-'85.

ELEKTRONISCHE ACTIEVE COMPONENTEN

Prof.dr.ir. J. Davidse
Technische Hogeschool Delft

A survey is given of the development of the field of electronics from the viewpoint of the development of active components. It is argued that the particular properties of the vacuum tube endowed electronics with a remarkable capability for diversification. The role radio broadcasting has played in carrying electronics into the realm of mass production is noted. It is stated that the vacuum tube, though extremely suited for the starting era of electronics, could not respond to the need for electronic systems of increasing complexity. Semiconductor components came just in time to enable electronics to overcome the threat of stagnation due to lack of hardware fitting to the needs of the moment. The advent of IC-techniques as a subsequent major breakthrough fits very well into the framework of evolutionary growth of electronics. The analogy between biological evolution and evolution in electronics is noted. Finally some reflections are made concerning future developments.

1. INLEIDING

Het heeft gedurende de laatste jaren in de vakliteratuur en in de publiekspers niet ontbroken aan historische beschouwingen over elektrotechnische onderwerpen. De directe aanleiding voor zo'n geschiedkundige bijdrage is meestal het bereiken van een chronologische mijlpaal: een jubileum van een belangrijke uitvinding of het jubileum van een genootschap of een tijdschrift. Dat de zich voordoende gelegenheid ook metterdaad gebruikt wordt zal ook wel te maken hebben met de onmiskenbaar alom verbreide behoefte aan nostalgisch bezig zijn met het afzienbare verleden. Het is dan ook begrijpelijk dat de redactie van het Tijdschrift van het NERG het afsluiten van de vijftigste jaargang van het tijdschrift aangrijpt voor enige bezinning op het verleden.

Elektronica is een breed terrein en wie iets over de geschiedenis van dit vak wil zeggen zal een keuze moeten doen. Vele onderwerpen zijn door de redaktie van het Tijdschrift in overleg met potentiële auteurs overwogen. Eén van de gemaakte keuzes is het onderwerp van deze bijdrage: actieve elektronische componenten. Er is een goede reden voor deze keuze: het zijn de actieve elektronische componenten die de elektronica tot een zelfstandig vak hebben gemaakt. Dit zijn immers de componenten waarin het spel met de elektronen wordt gespeeld, waaraan het vak zijn naam ontleent. Het is dan ook niet ten onrechte dat algemeen de uitvinding van de vacuümtriode door Lee de Forest in 1906 als geboortemoment van de elektronica wordt gekozen. De eerste openbare mededeling hierover deed Lee de Forest op 14 maart 1907 in een voordracht over "Wireless transmission of intelligence".

Een zuiver geschiedkundig relaas moet u van de schrijver van deze bijdrage niet verwachten. Als niet-historicus acht hij zich daartoe niet gekwalificeerd en er bestaan bovendien reeds vele van zulke beschouwingen. Het boek van Shiers (lit. 1) geeft een uitgebreid bibliografisch overzicht. Wie zich wil laven aan historische beschouwingen vindt hier rijke bronnen. En wie geïnteresseerd is in chronologisch geordende overzichten van de ontwikkeling van de elektronica en van de creatieve voortbrengselen van haar beoefenaren, vindt in de boeken van Davis en Dummer al wat hij of zij behoeft (lit. 2 en 3). Deze bijdrage wil de technische ontwikkelingen in een wat breder perspectief plaatsen en de lezer uitnodigen tot enige meditatie over achtergronden en samenhangen. Zulke bespiegelingen zijn zinvol omdat ze een beeld geven van relaties die ook bij het denken over de toekomst richtinggevend kunnen zijn.

2. HET TREKPAARD VAN DE BEGINTIJD: DE VACUUMBUIS

Zoals reeds gememoreerd werd: de eerste actieve elektronische component was de vacuümtriode. Een actieve component heet zo omdat zij in staat is tot versterking van het er aan toegevoerde signaalvermogen. Actieve componenten bestonden reeds lang voor de komst van de triodebuis. Het elektromechanische relais is een eenvoudig voorbeeld. Het maakte onder meer telegrafie over lange afstanden mogelijk door middel van tussengeschakelde versterkerstations. De triodebuis is echter de eerste component waarin elektronen worden gemanipuleerd om de gezochte versterkerwerking tot stand te brengen. Dit maakte de versterking van relatief hoogfrequente signalen mogelijk, met name van spraaksignalen. Wellicht nog belangrijker was dat de nieuwe bouwsteen draadloze communicatie tot een beheersbare techniek maakte, waarbij ook de draadloze overdracht van spraaksignalen met goede kwaliteit mogelijk werd. De tot dan toe gebruikte zend- en ontvangmiddelen, zoals vonkboogzenders en coherers waren hiertoe nauwelijks bruikbaar. Hun bediening was bovendien zo omslachtig en de ontvangers waren zo ongevoelig dat

slechts overdracht over beperkte afstanden mogelijk was en mobiel gebruik, met name op schepen, nauwelijks practicabel was.

Overigens is het wel interessant te noteren dat de competitie tussen zuiver elektronische en elektromechanische middelen niet op alle fronten direct beslecht was. Voor de opwekking van grote zendvermogens heeft men tot in de jaren twintig gebruik gemaakt van machinezenders en vonkboogzenders, waarmee overigens slechts overdracht van telegrafiesignalen mogelijk was. Als detectoren heeft men ook nog geruime tijd elektromechanische middelen gebruikt, zoals het in dit nummer herdrukte artikel over de snaargalvanometer als detector van elektromagnetische signalen laat zien. De televisietechniek toonde later een dergelijke ontwikkeling. Het heeft lang geduurd aleer in de competitie tussen zuiver elektronische en elektromechanische aftastmiddelen het pleit definitief beslecht werd ten gunste van de elektronische oplossing. Er zijn meer van zulke voorbeelden te geven. In de regel blijken de elektronische oplossingen op den duur de overhand te krijgen. Ook in de huidige techniek kan men deze tendentie waarnemen; men denke aan hardcopy-systemen voor computeroutput. Niettemin zij men voorzichtig met het trekken van algemene conclusies. In de radartechniek heeft het niet ontbroken aan pogingen om de rol van scanning met behulp van mechanische systemen terug te dringen, doch tot nog toe met weinig resultaat. Nog curieuzer is de ontwikkeling van weergeeftechnieken voor elektronische uurwerken; na een periode waarin LED's en LCD's de favoriete middelen waren, ontstond een hernieuwde voorkeur voor elektromechanisch aangedreven wijzersystemen.

Keren we terug naar de begintijd van de elektronica. Zoals reeds gemeld, maakte de komst van de elektronenbuis een grote sprong voorwaarts mogelijk in de techniek van de draadloze communicatie. Dit toepassingsgebied is van cruciaal belang geweest voor de groei van de elektronica. Hiermee verkreeg de jonge techniek immers nagenoeg een monopoliepositie op een terrein dat van immens maatschappelijk belang was. In de twintiger jaren was de ontwikkeling van de buizentechniek en van de techniek om met buizen schakelingen te bouwen voor het opwekken, versterken, moduleren en demoduleren van elektromagnetische signalen zo ver gevorderd dat een nieuwe toepassing tot bloei kon komen in de vorm van draadloze omroep. Dit is van niet te overschatten betekenis geweest voor de ontwikkeling van de jonge techniek. Immers werd hiermee een toepassingsgebied ontsloten dat massaproduktie impliceert met de daaraan inherente economische en commerciële belangen. De produktiekosten van elektronische componenten, met name ook van de elektronenbuizen, namen nu drastisch af, terwijl de op gang komende grote researchinspanningen op dit veelbelovende gebied leidden tot grote kwaliteitsverbeteringen en tot de ontwikkeling van allerlei nieuwe componenten. In de sector van de actieve componenten -het centrale thema van deze bijdrage- betekende dat de ontwikkeling van nieuwe buistypen. Afgezien van de algemene bezwaren die aan vacuümbuizen kleven, en die verderop onze aandacht zullen krijgen, was de triodebuis behept met een aantal specifieke bezwaren, die bij het toenemen van de eisen die de zich ontwikkelende toepassingen stelden, zich meer en meer deden gevoelen. De belangrijkste waren de bescheiden waarde van de zgn. versterkingsfactor, d.i. het produkt van transconductantie en uitgangsweerstand, en de capacitieve koppeling tussen uitgangs- en ingangsketen. De uitvinding van de tetrodebuis bracht op beide punten een aanzienlijke verbetering. Deze nieuwe buis introduceerde echter ook een nieuw probleem: de secundaire emissie van de anode beperkte aanzienlijk het bruikbare uitstuurbereik, hetgeen vooral bezwaarlijk was bij de toepassing in vermogensversterkers. De introductie van een derde rooster onderving dit bezwaar. Niet onvermeld mag blijven dat aan de uitvinding van de aldus ontstane pentodebuis de naam is verbonden van ons erelid prof. B.D.H. Tellegen. Met de pentode kregen de ontwerpers van schakelingen een actief element in handen dat beschouwd mag worden als een, ook naar huidige maatstaven beoordeeld, opvallend goede benadering van de unilaterale spanning-stroomtransactor. De buis leende zich ook goed voor uitvoeringsvormen voor het leveren van grote signaalvermogens. Nog altijd zijn er audiofanaten die van mening zijn dat geen enkele moderne component meer geschikt is voor eindtrappen met hoog vermogen dan de pentodebuis. Om misverstanden te voorkomen: de schrijver van deze bijdrage rekent zich niet tot deze groep.

Dat de vacuümbuis zich van nature uitstekend leent voor uitvoeringsvormen die grote signaalvermogens leveren heeft de snelle ontwikkeling van de radio-omroep mogelijk gemaakt. Het is wel interessant te speculeren over de vraag hoe de elektronica zich ontwikkeld zou hebben als niet de vacuümbuis de eerste belangrijke actieve component zou zijn geweest die elektronische ontwerpers ter beschikking kwam, maar de transistor. De ontwikkeling van transistoren voor grote vermogens is veel moeilijker dan die van buizen. Met name doorslagproblemen en problemen rondom de afvoer van gedissipeerde energie liggen hieraan ten grondslag. Ook thans nog is men voor de inrichting van zenders voor zeer grote vermogens aangewezen op buizen. Hoe zou de elektronica zich ontwikkeld hebben als de radio-omroep met de daaraan verbonden implicatie van massafabricage niet in een vroeg stadium het trekpaard van de ontwikkeling zou zijn geweest? Men kan er slechts naar gissen. Er behoeft niet aan te worden getwijfeld dat uiteindelijk de elektronica haar zegetocht zou hebben weten te maken, maar de weg waarlangs zou ongetwijfeld heel anders zijn geweest. Het wordt aan de lezer overgelaten over deze vraag wat verder te mediteren. Volstaan we hier met de opmerking dat een betrekkelijke toevalligheid een beslissende invloed blijkt te

kunnen hebben op de ontwikkeling van een nieuwe techniek.

Gaan we nog even terug naar de begintijd. De ontwikkeling van triode tot pentode is maar één aspect van de activiteit van de ontwikkeling van de buizentechniek. Van minstens zo groot belang waren de inspanningen om tot een beter inzicht te komen in de fundamentele principes die aan de werking van de buis ten grondslag liggen. Door verbeterde elektrodenconstructies konden de eigenschappen belangrijk worden verbeterd. Hoe primitief de eerste buizen waren opgebouwd kan blijken uit de foto's van de Lee de Forest "audion" uit 1907 (foto 1) en de Von Lieben Röhre uit 1910 (foto 2). Daarnaast werd werk verricht op het gebied van de vervaardigingstechnieken en de praktische uitvoeringsvormen. De buizen uit het eerste decennium tonen ten aanzien van de uitvoeringsvormen en materiaalkeuze onmiskenbare verwantschap met de reeds langer bestaande gloeilampen. Het heeft een jaar of vijftien geduurd aleer de buizentechnologie een eigen stijl had gevonden. Ook nadien werden voortdurend verbeteringen en vereenvoudigingen aangebracht. Niet alle nieuw ontwikkelde technieken bleken blijvend te voldoen. Zo is de metalen omhulling die enige tijd, vooral in de Verenigde Staten, favoriet was, weer nagenoeg van het toneel verdwenen. De hier vluchtig geschetste ontwikkeling vertoont in haar structuur grote overeenkomst met de latere ontwikkeling van de halfgeleidercomponenten. Aanvankelijk gaat het alleen om het implementeren van het basisprincipe, vervolgens richt zich de aandacht vooral op het verwerven van meer inzicht in de details van de werking, dat dan de basis vormt voor uitvoeringen met betere eigenschappen. Daarna verschuift een deel van de aandacht naar de ontwikkeling van alternatieve en superieure vervaardigingstechnieken, waarbij tegelijkertijd de belangstelling voor uitvoeringsvormen, montagewijzen, e.d. een grote plaats gaat innemen.

3. MET BUIZEN BLIJKT VEEL TE KUNNEN, MAAR NIET ALLES

Opgemerkt werd reeds dat de radio-omroep zich kon manifesteren als een vroege toepassing van de nieuwe techniek, dank zij een vrij unieke eigenschap van de vacuümbuis, namelijk dat deze door middel van schaalvergroting gemakkelijk geschikt kan worden gemaakt voor grote vermogens. Nog een andere specifieke eigenschap van de buizentechniek was van groot belang voor de snelle opmars van de elektronica in vele toepassingen. Buizen worden vervaardigd in een assemblagetechniek. Vergeleken met de fysisch- chemische processen waarin halfgeleidercomponenten worden vervaardigd, is dit een omslachtige werkwijze waaraan vele bezwaren kleven. Zij heeft echter ook een voordeel: zij biedt een grote principiële vrijheid ten aanzien van de opbouw van allerlei (driedimensionale) structuren. Creatieve buizenontwerpers verzonnen allerlei speciale buizen voor bijzondere doeleinden. Door naast intensiteitssturing ook verdelingssturing te benutten en door gebruik te maken van elektrostatische en elektromagnetische afbuigsystemen, konden allerlei bijzondere eigenschappen worden gerealiseerd. Bovendien biedt vacuüm als transmissiemedium voor de elektronen de mogelijkheid om scherpe elektronenbundels te manipuleren. De exploitatie van deze mogelijkheid leverde een groot aantal interessante nieuwe componenten op. Het ontbreken van deze mogelijkheid in de halfgeleidertechniek, waar nu eenmaal de verstrooiing van elektronen in het kristalrooster de vorming en het transport van elektronenbundels belemmert, is er de oorzaak van dat ook thans de buizenproduktie nog grote omzetten bereikt. Moderne beeldstations voor computers moeten helaas nog steeds met weergeefbuizen worden uitgerust, ondanks alle daaraan verbonden bezwaren. Zonder de grote flexibiliteit die de buizentechniek kenmerkt zouden tal van toepassingen van de elektronica beduidend moeizamer hun terrein hebben veroverd.

In een nieuw veld van technische ontwikkelingen worden fundamentele ideeën dikwijls reeds in een zo vroeg stadium geconcipieerd, dat hun praktische verwerkelijking nog moet wachten op de voltooiing van een technologisch rijpingsproces. De elektronica vormt geen uitzondering op deze gang van zaken. Zo zijn vele grondbeginselen van de televisietechniek en de computertechniek geconcipieerd in een tijd waarin de implementatie onoverkomenlijke problemen opriep. Een weinig bekend, maar interessant voorbeeld van een vroeg idee met een grote draagwijdte is de gedachte om elektronische schakelingen als geïntegreerde eenheden te realiseren, de grondgedachte van de IC-techniek. De eerste IC's dateren in feite uit de jaren twintig, toen gedurende korte tijd de firma Loewe een aantal buissystemen tezamen met koppelelementen (condensatoren en weerstanden) in één vacuümomhulling ondergebracht (foto 3). Dit maakte het mogelijk een radio-ontvanger te vervaardigen die slechts één "buis" bevatte. Nog minder bekend is wat de aanleiding was tot de ontwikkeling van deze premature IC's. In Duitsland was er een belasting ingevoerd op radio-ontvangers. De hoogte van deze belasting was gerelateerd aan het aantal er in gebruikte buizen! Het is wel vaker gebeurd dat merkwaardige overheidsmaatregelen de creativiteit van technici hebben geprikkeld. Dat deze vorm van IC-techniek niet lang stand heeft gehouden zal thans wel niemand verbazen.

In het voorgaande is de betekenis van de vacuümbuis als centraal bouwelement van de vroege elektronica belicht. Daarbij is gebleken dat de specifieke eigenschappen van juist deze actieve component een snelle ontplooiing van de toepassingen op vele en zeer uiteenlopende terreinen hebben begunstigd. Men kan zeggen: de uitstekende en veelzijdige manipuleerbaarheid van elektronen in vacuüm leidde tot een snelle uitgroei in de breedte. Echter, wanneer eenmaal de levensvatbaarheid van een bepaalde toepassing is gebleken zet een proces in van verdieping en verfijning. De behoefte aan meer verfijnde apparatuur met meer functies, betere bedienbaarheid en

grotere capaciteit, leidt vrijwel altijd tot grotere complexiteit. Zeer evident manifesteert zich dit aspect bij de computer. Een computer wordt opgebouwd uit een zeer groot aantal op zichzelf eenvoudige grondschakelingen. Kan men die grondschakelingen realiseren, dan kan men in principe een grote computer bouwen. Echter, het tot één functioneel geheel samenvoegen van een zeer groot aantal op zichzelf eenvoudige grondschakelingen, introduceert nieuwe eisen aan de bouwstenen. Met betrekking tot dit aspect is de vacuümbuis een zeer ongeschikte bouwsteen. De vervaardiging door middel van assemblage maakt de buis duur en de spreiding in de eigenschappen relatief groot. De benodigde gloeidraad vraagt extra aansluitingen en verbruikt veel energie, het energetisch rendement is slecht, de benodigde spanningen zijn hoog en de levensduur zowel als de bedrijfszekerheid zijn beperkt. Kortom, de vacuümbuis is ongeschikt als het centrale actieve element in complexe systemen. In het geval van de computer komt daar nog bij dat ook de elektrische eigenschappen te wensen overlaten. De buis is een relatief slechte schakelaar en omdat de buis een "normally-on" component is, vereist de correcte instelling niveauverschuivingen tussen de opeenvolgende schakelingen. Toen halverwege de jaren veertig de behoefte aan complexe structuren zich steeds meer deed gevoelen, leek de verdere ontwikkeling van de toepassing van de elektronica in een impasse te geraken. De complexiteit van een apparaat als een, naar huidige maatstaven beoordeeld, eenvoudige kleurentelevisieontvanger, was nog net beheersbaar. Maar voor automatiserings- en computersystemen, hoewel conceptueel mogelijk, was de buis ten enenmale ongeschikt.

4. NIEUWE COMPONENTEN VOOR EEN NIEUW TIJDPERK

De fundamentele nadelen van de buis als bouwsteen voor complexe structuren waren reeds geruime tijd onderkend. Het idee om in plaats van vacuüm als transmissiemedium voor de ladingdragers een vaste stof te gebruiken, was al opgekomen aan het eind van de jaren twintig. De buis is een veldeffectcomponent: de sturing van de elektronenstromen vindt plaats met behulp van, meestal elektrische, soms ook magnetische velden. Waarom zou dit mechanisme niet kunnen werken als de elektronen zich in een vaste stof bewegen?. De actieve structuur zou dan veel kleiner kunnen zijn, er zou geen hete kathode nodig zijn om de elektronen in het transmissiemedium te brengen en de spanningen om de benodigde veldsterkten op te wekken zouden als gevolg van de kleinere afmetingen van de actieve structuur veel kleiner kunnen zijn. Het heeft dan ook niet aan pogingen ontbroken om het veldeffect in de vaste stof te leren beheersen. De bekendste voorstellen zijn die van Lilienfeld en Heil, die beiden patenten verkregen op vaste-stof versterkerelementen berustend op het principe van het veldeffect (Lit. 4, 5, 6). De beperkte kennis van het gedrag van elektronen in vaste stoffen stond echter de ontwikkeling van reproduceerbare en bedrijfszekere actieve vaste-stof componenten in de weg en het idee moest noodgedwongen worden opgegeven.

Vele jaren van diepgaand fysisch onderzoek, leidend tot nieuw theoretisch inzicht en tot nieuwe vervaardigingswijzen voor specifieke structuren, bleken nodig om tot een praktisch bruikbare mate van beheersing van het gedrag van ladingdragers in de vaste stof te komen. Men kan wel zeggen dat de uitvinding van de bipolaire transistor in 1947 juist op tijd kwam. Niemand zal op dat moment overigens de omvang van de technische revolutie die werd ingeluid door deze vondst, hebben voorzien. Dat was ook nauwelijks mogelijk, want de eigenschappen van de eerste transistoren maanden tot bescheidenheid. Zo meende men dat het wel nooit zou gelukken om transistoren voor zeer hoge frequenties te vervaardigen. De buis leek op dit punt over een principieel voordeel te beschikken omdat daarin de elektronen, niet gehinderd door een het transport belemmerend kristalrooster, grote snelheden konden aannemen. Op zichzelf geen onjuiste gedachte, maar men kon zich blijkbaar niet voorstellen dat de afmetingen van de actieve structuur zo klein gemaakt zouden kunnen worden dat de looptijd van de ladingdragers -en dat is waar het om gaat- uiteindelijk toch veel kleiner zou kunnen worden dan in een vacuümbuis mogelijk is. Hier stelt de benodigde assemblagetechniek immers grenzen aan de verkleining van de essentiële afmetingen. Ook de ruiseigenschappen van de nieuwe component baarden zorgen. Toen echter eenmaal de levensvatbaarheid van de nieuwe actieve component was aangetoond kwam er een omvangrijke onderzoekinspanning op gang. Het proces van verdieping van inzicht en verbetering van de vervaardigingstechnieken dat in de jaren tien en twintig steeds betere buizen had voortgebracht, zette zich opnieuw in. Echter, nu werd dit proces gedragen door een gerijpte industriële sector met een groot onderzoekpotentieel en die werd aangedreven door grote economische belangen. Al spoedig kristalliseerden zich enkele bruikbare vervaardigingstechnieken uit. Met name de legeertechniek heeft relatief lang -een jaar of zeven- repertoire gehouden. De komst van de diffusietechnieken in hun diverse varianten betekende een nieuwe doorbraak omdat hiermee de doteerniveaus veel beter beheerst konden worden en de afmetingen van de actieve structuur, met name de zeer belangrijke breedte van het basisgebied, sterk konden worden verkleind. Dank zij nieuwe technologische ontwikkelingen en verbeterde fabricageapparatuur konden componenten worden ontwikkeld met eigenschappen die in vele opzichten die van elektronenbuizen evenaarden of overtroffen. Te noemen zijn o.a de beheersing van het groeien van epitaxiale lagen en de passiveringstechniek om de invloed van oppervlakte-effecten terug te dringen. Een zeer belangrijke ontwikkeling was vervolgens de vervanging van germanium door silicium als het algemeen gebruikte materiaal voor halfgeleidercomponenten. Silicium

bleek technologisch veel beter beheersbaar dan germanium. Dit is met name te danken aan de zeer prettige eigenschappen van het oxyde van dit materiaal. In de moderne siliciumtechnologie vervult het SiO_2 vele functies: het wordt gebruikt als diffusiemasker, het wordt gebruikt als constructief materiaal en het wordt gebruikt voor passivering. Wat de elektronische eigenschappen betreft bestond er aanvankelijk twijfel of het silicium het in alle opzichten zou winnen van het vertrouwde germanium. Gunstig was de grotere bandafstand van silicium, waardoor men minder last had van sperstromen en van temperatuureffecten. Maar een nadeel was de lagere waarde van de mobiliteit van ladingdragers, waardoor hoge frequenties en grote stroomdichtheden meer problemen zouden geven. Al spoedig bleek echter het voordeel van de betere technologische beheersing ruimschoots op te wegen tegen dit nadeel met als gevolg dat ook siliciumtransistoren voor hoge frequenties of voor grote vermogens hun germaniumconcurrenten achter zich lieten.

De komst van de bipolaire transistor vervulde wel op genereuze wijze de lang gekoesterde wens naar een actieve component in vastestof-uitvoering, maar zij was niet de incarnatie van de op het veldeffect berustende component waar al veel vroeger naar was gezocht. De werking van de bipolaire transistor berust op eigenschappen van "bulkmateriaal", het veldeffect is een grenslaageffect. Maar grenslaageffecten hebben wel invloed op het gedrag van de bipolaire transistor en er was alle aanleiding tot intensieve studie van oppervlakte-toestanden en andere eigenschappen van grenslagen. Dit voerde ten slotte tot een zodanige beheersing van de eigenschappen van oppervlakken en grenslagen, dat het oude idee werkelijkheid kon worden. Er was trouwens al een vroege variant van de gezochte veldeffecttransistor uitgevonden, die gebruik maakte van de wel reeds goed beheersbare grenslaag tussen een p- en een n-gebied. Deze junctie-FET heeft tot op heden een plaats behouden in het gangbare arsenaal van de elektronische componenten. In sommige toepassingen is zij te prefereren boven de veel meer verbreide FET met geïsoleerde gate-elektrode, waarvan de MOS-transistor verreweg de belangrijkste vertegenwoordiger is. De voornaamste gunstige eigenschap is het aanzienlijk lagere ruisniveau, terwijl verder een voordeel is dat de vervaardiging in een bipolair proces met enige aanpassing lukt.

Het heeft tot in de zeventiger jaren geduurd aleer de vervaardigingstechniek van MOS-transistoren zo ver gevorderd was dat deze component een ware zegetocht kon beginnen. Op dit moment is de MOS-transistor de dominante component in geïntegreerde schakelingen. Het is opmerkelijk dat discrete MOST's, afgezien van enkele typen MOST's voor grote vermogens, nooit een rol van betekenis hebben gespeeld.

5. HET IC-TIJDPERK

De komst van de transistortechniek baande voor de elektronische ontwerpers de weg tot de verwerkelijking van complexe systemen die voor hun betrouwbaar functioneren afhankelijk zijn van het samenspel van honderden actieve componenten. Daarmee werd een dreigende impasse in de ontwikkeling van zulke systemen gekeerd. Met name de computer- en de automatiseringstechniek konden nu tot bloei komen. De betekenis van deze nieuwe revolutie die gedragen werd door de verkregen mogelijkheid van schaalvergroting, doet niet onder voor die van de eerste elektronische revolutie die vooral gedragen werd door de veelzijdigheid van de daarin toonaangevende component, de vacuümbuis. De vervaardiging van grote computers met voldoende bedrijfszekerheid werd in korte tijd een beheersbaar proces. Dit stimuleerde de ontwikkeling van activiteiten in nieuwe aandachtsgebieden. Met name de behoefte aan adequate software gaf een stoot aan de beoefening van de informatica. Informatici verkondigen graag dat hun vak in feite los staat van de implementatietechnieken. Dit moge in principe waar zijn, praktisch heeft de ontwikkeling van de informatica de zich snel uitbreidende mogelijkheden van de hardware op de voet gevolgd. De beschikbare realisatietechniek bepaalt in hoge mate welke architectuurconcepties aandacht krijgen. In andere gebieden van de techniek is het niet anders: zo wordt de architectuur van steden ingrijpend beïnvloed door de beschikbare bouwtechnieken. Als hout het dominante constructiemateriaal is ziet de gebouwde omgeving er heel anders uit dan als beton of staal de toonaangevende materialen zijn.

Kan gezegd worden dat de halfgeleidertechniek de ontwikkeling van een aantal zeer belangrijke toepassingsgebieden van elektronica de facto ontsloot, zij verruimde ook in aanzienlijke mate de mogelijkheden in die gebieden waar de elektronica reeds stevig grond onder de voeten had. Men denke aan de toepassing van transistoren in consumentenartikelen, zoals radio- en tv-ontvangers en audioversterkers. Men kan niet zeggen dat deze toestellen, uitgevoerd in buizentechniek, niet goed konden functioneren. Met transistoren uitgevoerd konden ze echter wel veel compacter en goedkoper worden, terwijl het energieverbruik sterk afnam. Al met al hebben de halfgeleidercomponenten de vacuümbuis als algemeen gebruikte actieve component in minder dan twintig jaren geheel verdrongen en daarmee het gezicht van de elektronica ingrijpend veranderd. Wie zich overigens nog eens wil verdiepen in de glorietijd van de buizentechniek raadplege het boek van Tyne (Lit. 7).

Bracht de komst van de transistor een doorbraak op het punt van de bereikbare complexiteit van elektronische systemen, reeds spoedig werden toch weer de grenzen van het redelijkerwijs mogelijke bereikt. Maar weer diende zich, juist op tijd, een nieuwe technische doorbraak aan in de vorm van de komst van de IC-techniek. Strikt geno-

men leverde de IC-techniek weinig echt nieuwe componenten op. Haar grote betekenis ontleent deze techniek, nog meer dan de introductie van de halfgeleidercomponenten, aan haar mogelijkheid om zeer complexe structuren met grote bedrijfszekerheid en met zeer lage kosten te realiseren. Daardoor konden niet alleen in reeds bestaande toepassingsgebieden grote vorderingen worden gemaakt, maar kon de elektronica ook met succes terreinen annexeren die vroeger voorbehouden waren aan andere technische disciplines. Men denke slechts aan produkten als horloges, schrijfmachines, kantoormachines, kasregisters enz.

In deze op lezers met kennis van zaken op het terrein van de elektronica gerichte bijdrage, behoeft niet te worden uitgeweid over technische details, noch over de potentie van de thans beschikbare middelen. Er bestaat geen enkele twijfel dat de ontwikkeling van de IC-techniek op basis van de thans gangbare planaire bouwwijze, nog lang niet haar eindpunt bereikt heeft. Met name in de sfeer van de ontwikkeling van de toepassingen in allerhande elektronische systemen voor het transport en de bewerking van informatie, ligt nog een gigantisch arbeidsveld gereed om geëxploiteerd te worden. Met deze opmerking zou dit artikel kunnen worden afgesloten. De schrijver meent echter zijn lezers een synthetiserende terugblik met een enigszins speculatieve inslag niet te mogen onthouden. De kracht van de dominante actieve component uit de begintijd van de elektronica, de elektronenbuis, was haar opvallende veelzijdigheid, die de ontwikkeling van een groot aantal fundamentele concepties stimuleerde. Het lijkt niet gewaagd te zeggen dat deze component wonderwel paste bij een beginnende techniek. De tweede grote doorbraak op het terrein van de actieve componenten, de discrete halfgeleidertechniek, bracht vooral de mogelijkheid om de complexe systemen waaraan de ontwikkeling juist was toegekomen, te verwerkelijken. Men kan zeggen: dat was precies de doorbraak waaraan op dat moment behoefte bestond. De derde doorbraak, de komst van de IC-techniek, kwam ook weer op een moment dat de systeemontwikkeling toe was aan vergaande schaalvergroting en aan expansie naar terreinen die voorheen voorbehouden waren aan andere disciplines. De gedachte dringt zich op dat de evolutie van de elektronica analogie vertoont met de evolutie van het leven op aarde. Ook daarin lijken zich sprongsgewijs ontwikkelingen te hebben voorgedaan op momenten die als het ware daarvoor voorbestemd waren. Is deze analogie toevallig? Of manifesteert zich hier een diep in de natuur verankerd evolutieprincipe? Nou èn? Heeft het wel zin over zulke vragen na te denken; kan dat bijdragen tot inzicht in en beheersing van toekomstige ontwikkelingen? Waarde lezer, uw schrijver heeft wel vragen, maar geen afdoende antwoorden. Het zal u duidelijk zijn dat hij vermoedt dat het zin heeft zulke vragen niet uit de weg te gaan. Dat, en niet meer, is waartoe hij u uitnodigt.

6. EEN BLIK OP DE TOEKOMST

Een beschouwing als deze kan niet eindigen zonder enkele opmerkingen over het toekomstperspectief. We zijn dan meteen weer terug bij het soort vragen waar technici zich minder onzeker bij voelen. Welke ontwikkelingen zijn er te verwachten op het terrein van de actieve componenten? Voor zover het de nabije toekomst betreft lijkt de trend zich vrij duidelijk af te tekenen. De vigerende planaire siliciumtechnologie is nog niet aan het einde van haar mogelijkheden gekomen. De afmetingen van de actieve structuren zullen nog verder afnemen en de afmetingen van met voldoende opbrengst vervaardigbare chips zullen nog verder toenemen. Langs deze weg moet de realisatie van mega- en wellicht gigabitstructuren wel binnen bereik komen. Minder zeker is of veel verdere verkleining van de afmetingen der actieve structuren wel of niet tot de bruikbare mogelijkheden behoort. Bij afmetingen in het nanometergebied krijgt men te maken met quantummechanische verschijnselen die nog niet goed te overzien zijn. Als men die kant op wil gaan zal ook de daarvoor benodigde lithografie ontwikkeld moeten worden. Niet iedereen is er van overtuigd dat verder werken in deze richting veel zal opleveren. Het tweede terrein waarop zich veel onderzoekactiviteit richt is dat van het gebruik van alternatieve materialen, in het bijzonder die welke behoren tot de zgn. 3-5 verbindingen. Zullen deze materialen het silicium te zijner tijd onttronen, zoals dit materiaal het aanvankelijk favoriete germanium obsoleet maakte? Als men bedenkt dat het onderzoek naar bruikbare technologische methoden voor de vervaardiging van IC's op basis van 3-5 verbindingen reeds een geschiedenis heeft van ongeveer twintig jaar, kan men zich nauwelijks voorstellen dat de vervaardigingstechniek spoedig die van silicium zal evenaren. Meer voor de hand liggend, en door velen verwacht, is een ontwikkeling waarbij 3-5 IC's zich een plaats zullen verwerven in toepassingen waarin hun specifieke voordelen zich goed kunnen manifesteren, en dat silicum het dominante materiaal zal blijven. Maar voorspellen in de elektronica is een onzeker bedrijf; dat heeft de geschiedenis nu wel bewezen.

Een vraag waarop de antwoorden vijfentwintig jaar geleden van meer zelfverzekerdheid getuigden dan thans het geval is, is of het spoedig zal gelukken de alomtegenwoordige beeldbuis te vervangen door een hanteerbaarder alternatief. Dacht men in het verleden op grond van het feit dat er zoveel fysische mechanismen beschikbaar zijn om elektrische energie in optische energie om te zetten, dat de vurig begeerde "flat display" wel spoedig werkelijkheid zou worden, een kwart eeuw van vergeefs intensief zoeken naar het ei van Columbus op dit gebied noopt thans tot wat meer bescheidenheid. Deze harde noot zal eens wel gekraakt worden, maar schrijver dezes zou er niet op durven wedden dat binnen tien jaar tv-weergave zonder gebruik te maken van KSB's courant zal zijn. Dit

is één van de zeldzame gevallen in de elektronica waarin de toekomstverwachtingen te optimistisch werden ingeschat.

Zal zich binnen afzienbare tijd een nieuwe doorbraak aandienen van het formaat van de komst van de halfgeleidercomponenten of van de IC-techniek? Er zijn er die de ster van de biochip menen te zien opkomen. Science fiction of nuchtere berekening? De schrijver van deze bijdrage kan u er geen uitsluitsel over geven. Wel lijkt één opmerking op haar plaats. De grote doorbraken uit het verleden kwamen op momenten waarop zo'n doorbraak onmisbaar was om verder te kunnen komen. Van zo'n situatie is thans geen sprake: de potentie van de IC-techniek is nog lang niet uitgeput. Maar natuurlijk impliceert deze vaststelling niet dat zo'n doorbraak in een vroeger stadium een uitgesloten zaak is. Hoe dan ook, het is een geruststellende gedachte dat, ook als zich geen nieuwe grote doorbraak aandient, er nog voor vele jaren brood op de plank is.

Het centrale thema van deze bijdrage is "actieve componenten". Het adjectief "actief" heeft formeel betrekking op een zuiver technische eigenschap van deze componenten. Aan het einde van deze beschouwing mag wel vastgesteld worden dat het alleszins toelaatbaar is aan dit adjectief mede de betekenis toe te kennen die het heeft in het normale spraakgebruik. Deze componenten hebben het fundament gevormd voor een onafzienbare reeks activiteiten met verstrekkende gevolgen en ze zijn daarbij een bron van inspiratie geweest voor de zeer actieve groep van mensen die gefascineerd was door de elektronica en die dit vakgebied tot grote bloei bracht. Het NERG is een tehuis voor zulke activisten; het Tijdschrift, dat nu zijn vijftigste jaargang afsluit, een gewaardeerde actieve component in hun onderlinge communicatie. Het mag ons enige inspanning waard zijn er naar te streven dat ook de honderdste jaargang zal worden bereikt.

LITERATUUROPGAVE

(1) G. SHIERS. Bibliography of the history of electronics. The Scarecrow Press, Inc., Metuchen, N.J. 1972
(2) B.O. DAVIS. Electrical and electronic technologies: a chronology of events and inventors from 1900 to 1940. The Scarecrow Press, Inc., Metuchen, N.J. 1983
(3) G.W.A. DUMMER. Electronic inventions and discoveries, 2nd revised and expanded edition of "Electronic inventions 1745-1976". Pergamon Press, Oxford, 1978
(4) I.E. LILIENFELD. Application for U.S. Patent 1745175
(5) I.E. LILIENFELD. Application for U.S. Patent 1877140
(6) O. HEIL. British Patent 439457
(7) G.F.J. TYNE. Saga of the vacuumtube. Howard W. Sams & Co., Inc., Indianapolis, 1977

De foto's van antieke buizen zijn gemaakt door J.C. van der Krogt ; de getoonde buizen behoren tot het bezit van de studieverzameling van de Afdeling der Elektrotechniek, TH Delft, beheerder ir. J.M. Brans.

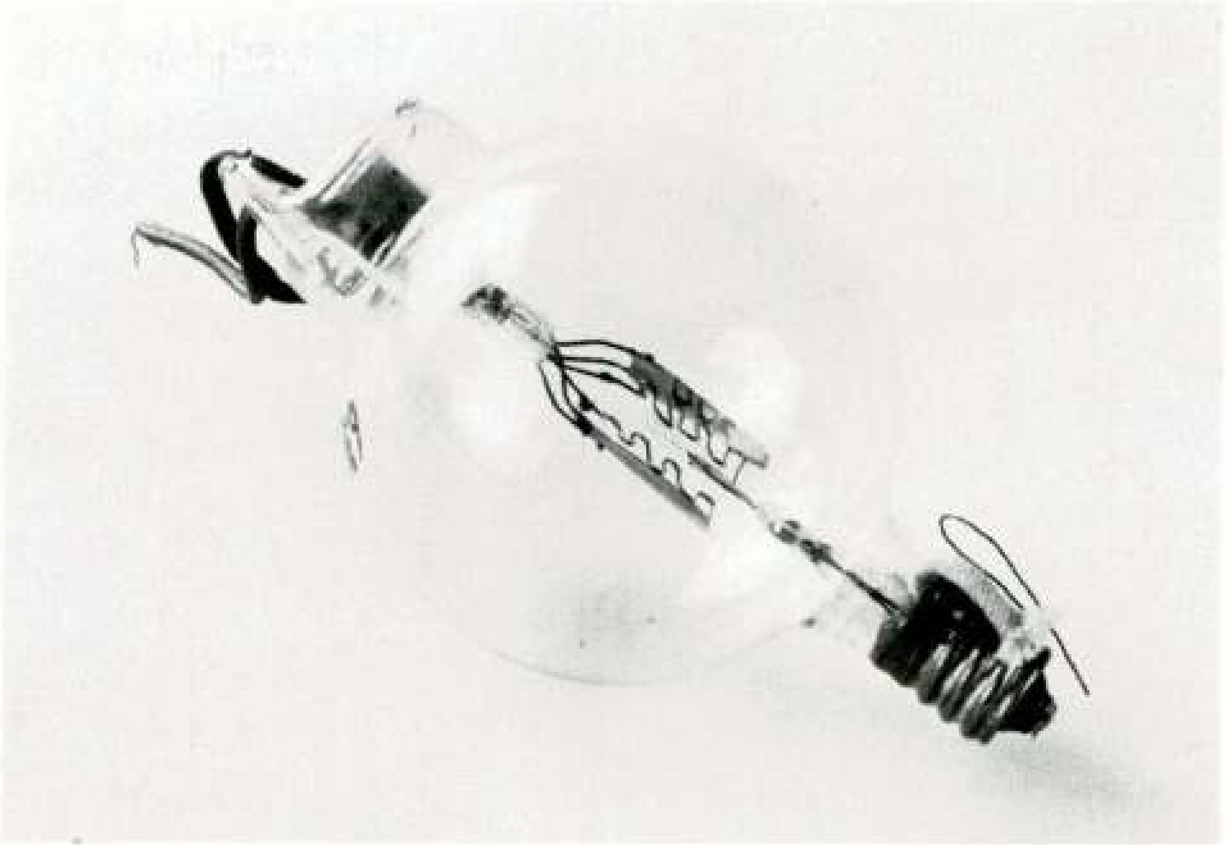


Foto 1

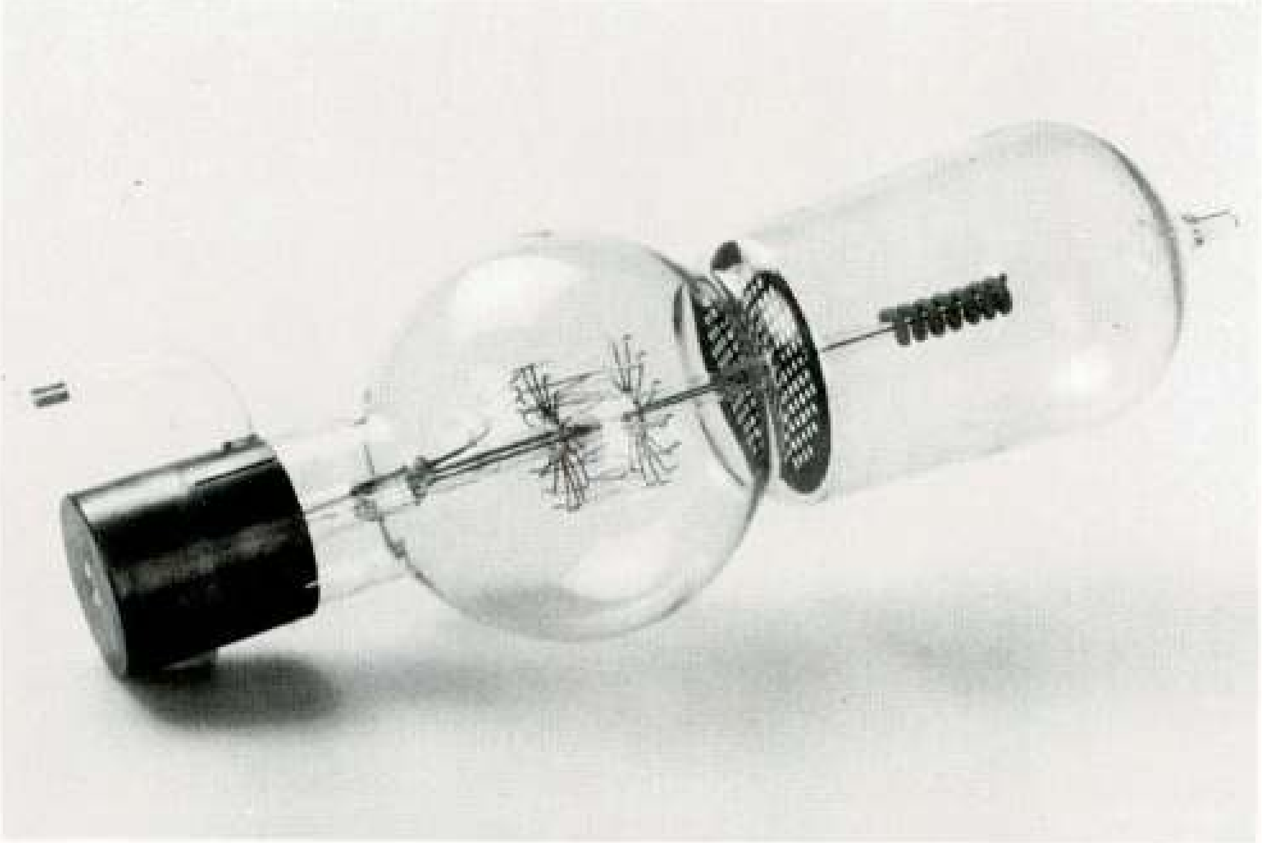


Foto 2

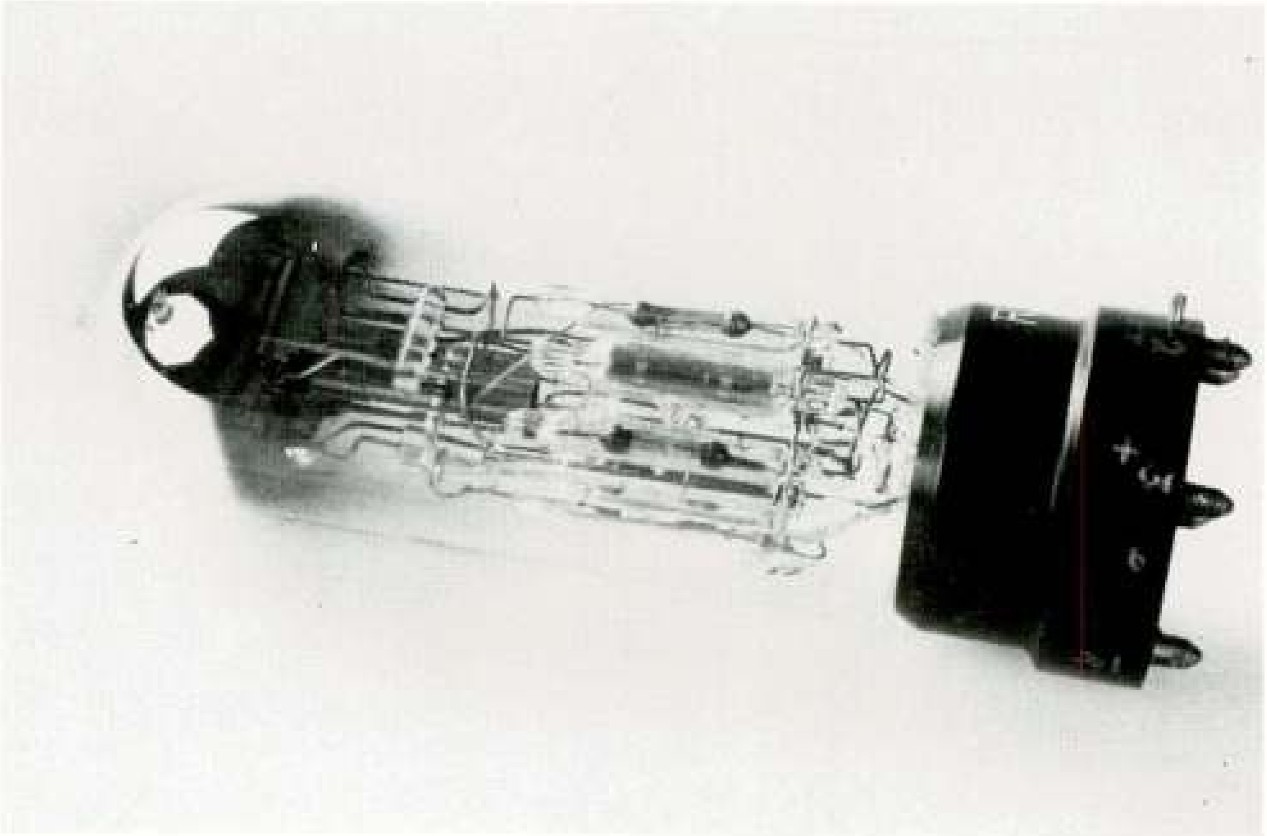


Foto 3

60 JAAR NIET-LINEAIRE TECHNIEKEN

Ir. F. de Jager

vóór pensionering werkzaam op het Philips Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven

Sixty years of non-linear technics. This article presents a survey of non-linear technics, mainly in the field of telecommunications, which have been developed during the last half century.

INLEIDING

Gelukkig bestaan er niet-lineariteiten. Want als de trillingen in een oscillator of orgelpijp zich precies zouden gedragen volgens een lineaire differentiaalvergelijking, dan zouden reeds bij een klein verschil tussen de toegevoerde en gedissipeerde energie deze trillingen uitsterven òf onbeperkt in sterkte toenemen. En ook het luisteren naar een orkest zou veel van zijn bekoring verliezen, want we zouden geen klarinet van een viool kunnen onderscheiden. Het klankverschil tussen deze instrumenten komt immers geheel tot stand door het verschil in hogere harmonischen, ontstaan door niet-lineaire effecten.

Omstreeks de jaren dertig werden niet-lineaire verschijnselen veelal beschouwd als afwijkingen in lineaire systemen. Nu worden zij in hoofdzaak toegepast om hun specifiek niet-lineaire eigenschappen en heeft ook de mathematische behandeling een geheel ander karakter gekregen.

TRILLINGEN

Om al of niet sinusvormig, aangroeiende en uitstervende trillingen gemeenschappelijk te kunnen beschouwen zouden we een trilling kunnen definiëren als een zich veranderende situatie. Een vallende steen valt natuurlijk ook onder deze definitie. We moeten er even aan wennen dat deze definitie niet eenduidig is. Denken we bijvoorbeeld aan een oscillator dan veranderen de spanningen en de stromen in de bijbehorende trillingskring voortdurend. Maar deze trilling kan ook worden gekarakteriseerd door een frequentie, een fase en een amplitude, dus door een punt in een driedimensionale ruimte, dat niet van plaats hoeft te veranderen. Toch zullen we ook in dat geval van een trilling kunnen spreken, zij het van een "constante" trilling.

In niet-lineaire systemen zijn vooral de veranderingen van een dergelijk "fase-punt" in de fase-ruimte van belang, daar zij het verloop van de trillingstoestand karakteriseren. Zo wordt in de bovengenoemde oscillator een evenwichtstoestand aangetroffen, wanneer de gedurende één periode aan de trillingskring toegevoerde energie gelijk is aan de in deze kring gedissipeerde energie. Bestaat hiertussen een verschil, dan wordt dit gebruikt voor het vergroten of verkleinen van de in de kring opgehoopte reactieve energie, dat wil zeggen voor een vergroting of verkleining van de trillingsamplitude.

Veel verschijnselen in niet-lineaire systemen kunnen op eenvoudige wijze worden onderzocht door uit te gaan van de evenwichtstoestand. Heeft men bijvoorbeeld een oscillator met een gegeven niet-lineaire buiskarakteristiek, een amplitude $\hat{u}$ en een koppeling k, dan kan men berekenen bij welke combinaties van $\hat{u}$ en k een evenwichtstoestand mogelijk is en deze kunnen in het $(\hat{u},k)$-diagram worden aangegeven door een kromme s (fig. 1). Deze kromme

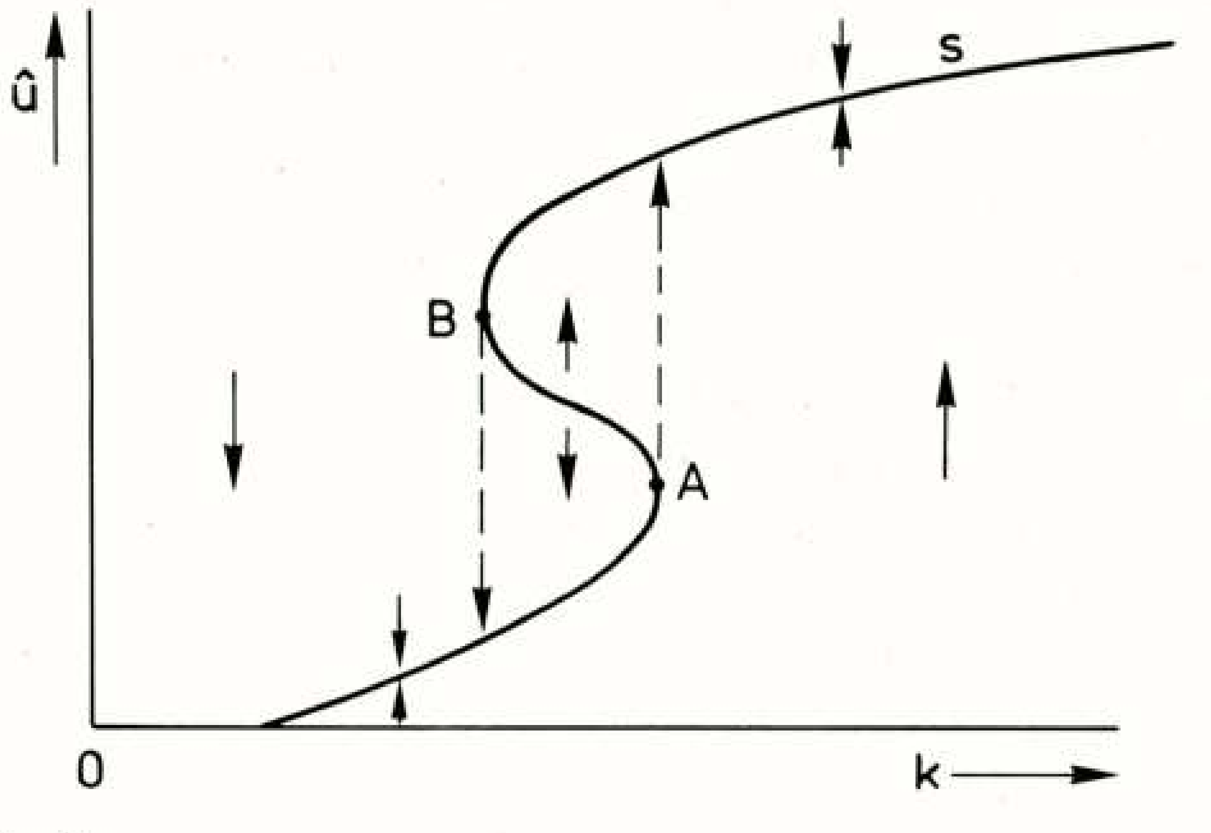


Fig. 1.

verdeelt het $(\hat{u},k)$-vlak in twee delen: in het ene neemt, bij een constante waarde van k, de amplitude toe en in het andere af. Men ziet daaruit dat bij een geleidelijke vergroting van de koppeling k het systeem begint te oscilleren met een stabiele trillingstoestand tot aan het punt A. Immers bij kleine afwijkingen van de evenwichtstoestand zorgt het systeem er zelf voor dat het naar die evenwichtstoestand terugkeert. De tak tussen A en B blijkt op dezelfde wijze instabiel te zijn. Wordt de koppeling groter gemaakt dan die behorende bij het punt A, dan treedt een sprong op in de amplitude $\hat{u}$ en komt het systeem terecht op de hoger gelegen, eveneens stabiele, tak van de kromme s. Dergelijke sprongverschijnselen in oscillatoren kunnen dus - zonder dat het nodig is de betreffende differentiaalvergelijking te analyseren - worden afgeleid uit het verloop van de evenwichtskromme.

De bovengenoemde sprongverschijnselen zullen ongetwijfeld bekend zijn aan diegenen die - in de jaren dertig - nog de oude radio-ontvangers met honingraatspoelen bediend hebben. In het algemeen had men daarbij te maken met een karakteristiek als in fig. 2: de ontvanger ge-

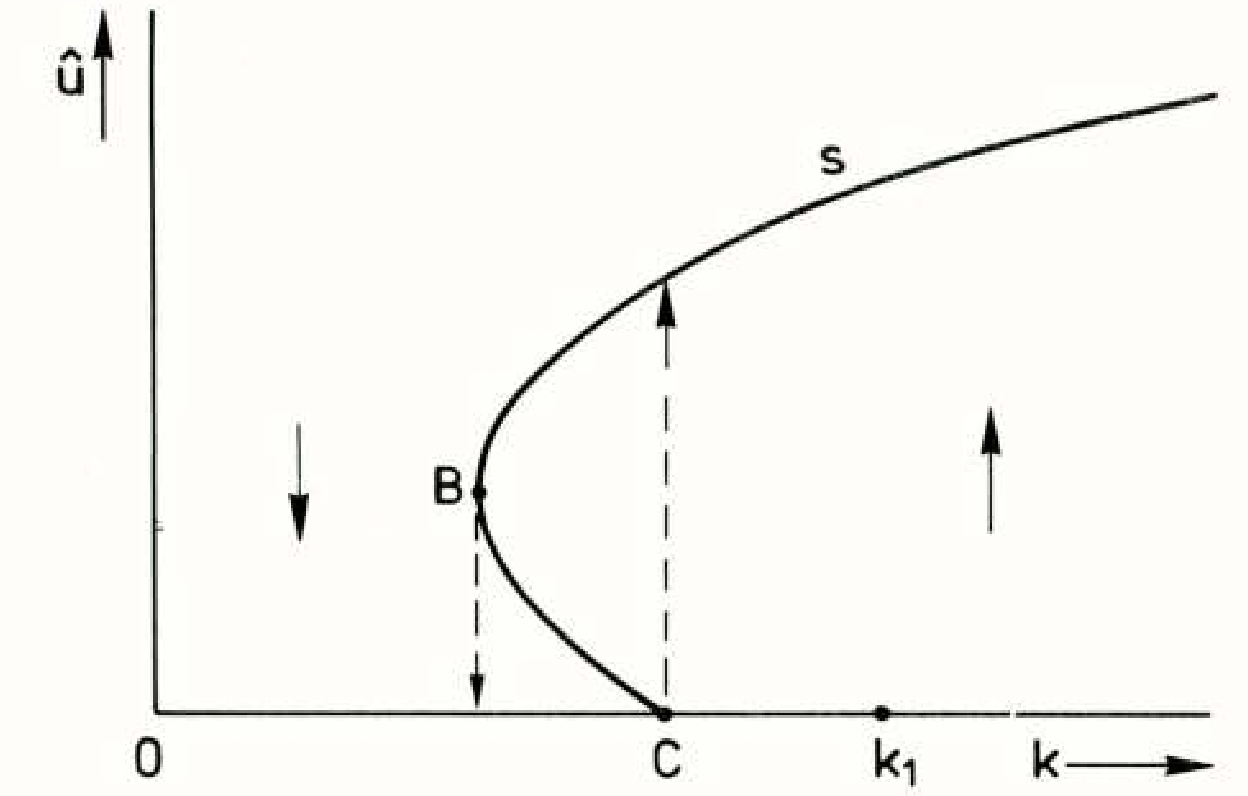


Fig. 2.

droeg zich normaal, dat wil zeggen zonder te oscilleren, tot de spoelen zo dicht bij elkaar geplaatst werden dat voorbij punt C de bekende Mexicaanse hond te voorschijn kwam, die dan slechts getemd kon worden door de koppeling weer kleiner te maken dan de waarde overeenkomende met het punt B. In de tijd dat het ontvangen van zwakke radiozenders nog een hele kunst was, moest men trachten een instelling vlak vóór het punt C te vinden: de schakeling was dan zo ver ontdempt dat de effectieve kringkwaliteit Q bijzonder hoog was, resulterende in een hoge gevoeligheid en selectiviteit.

Bij een verkeerd ontwerp van een oscillator kwam het ook voor dat deze plotseling ophield met oscilleren, om dan enige tijd later spontaan opnieuw te beginnen. (Het "intermitterend genereren"). Dit werd veroorzaakt door het optreden van roosterstroom en het verschijnsel is eveneens gemakkelijk te verklaren aan de hand van fig. 2. Door het opladen van de in de roosterleiding opgenomen condensator verschuift de gehele karakteristiek geleidelijk naar rechts, waardoor op een gegeven moment het punt B boven de ingestelde waarde van de koppeling k_1 komt te liggen. Het oscilleren houdt dan op en de condensator ontlaadt zich vervolgens via de lekweerstand, tot het punt C weer links van k_1 komt te liggen en het spel opnieuw kan beginnen.

Het berekenen van dergelijke verschijnselen is eenvoudig zolang de trillingen in de trillingskring bij benadering sinusvormig zijn, dus de kringkwaliteit hoog is. Is dit niet het geval, dan moet men zijn toevlucht nemen tot niet-lineaire differentiaalvergelijkingen. De eenvoudigste niet-lineaire differentiaalvergelijking die betrekking heeft op een oscillator is indertijd aangegeven door Balthasar van der Pol [1,2].

Bij een lineair systeem zijn de trillingen in een trillingskring te beschrijven met behulp van de tweede-orde-differentiaalvergelijking:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + f\frac{dx}{dt} + x = 0 ,$$

waarbij, voor een positieve constante f, de bekende gedempte trillingen optreden. Van der Pol nam nu aan dat de dempingsgrootheid f voor kleine waarden van x^2 negatief was - zodat dan de trillingen konden aangroeien - en voor grote waarden positief. Op de eenvoudigste manier is dit te bereiken door te stellen:

$$f(x) = \varepsilon(x^2 - 1) ,$$

met $\varepsilon > 0$. Zie fig. 3.

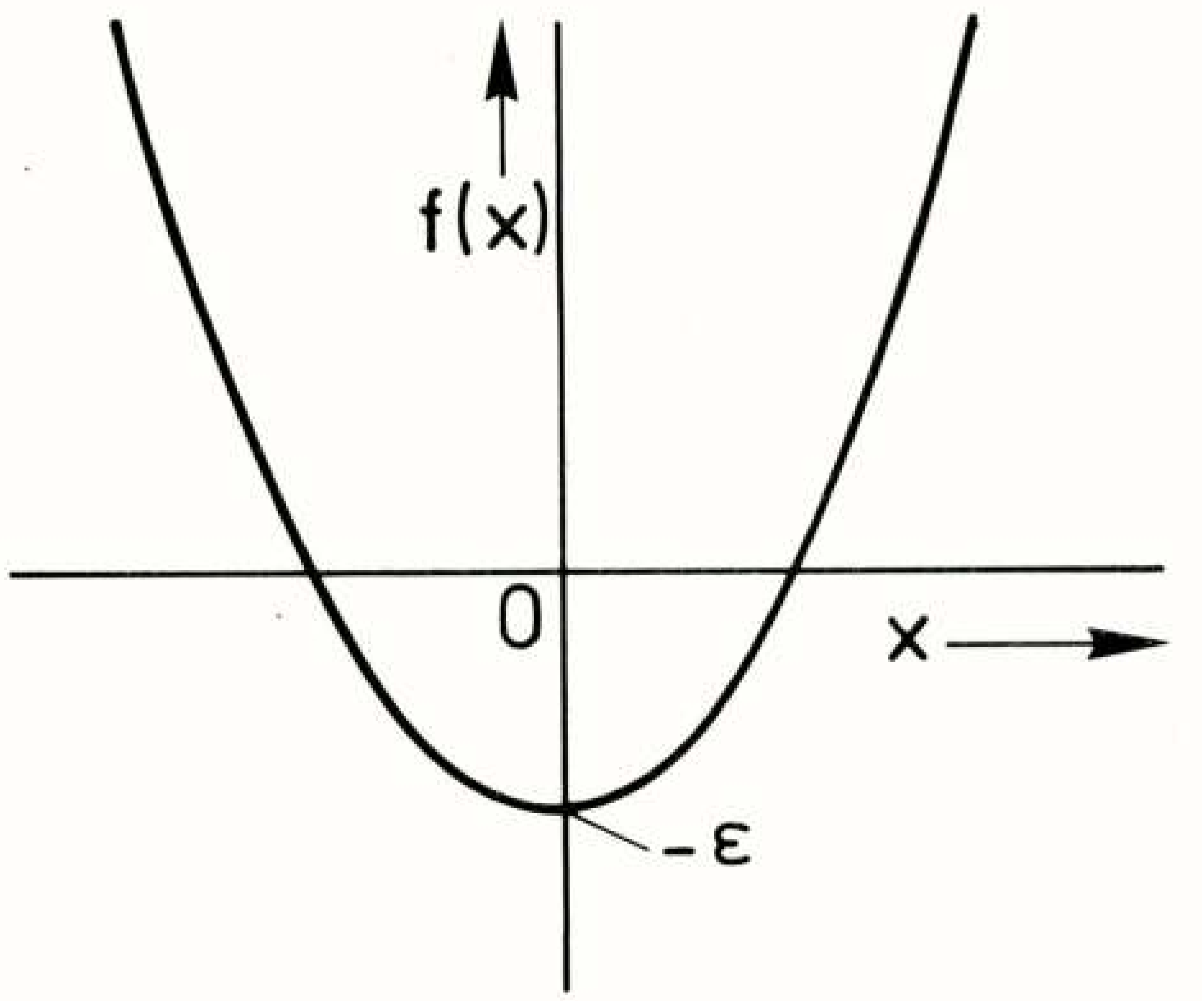


Fig. 3.

Voert men in de zo ontstane differentiaalvergelijking als nieuwe veranderlijke in:

$$\frac{dx}{dt} = y, \qquad \text{dus:}$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{dy}{dt} = y\frac{dy}{dx} ,$$

dan ontstaat een eerste-orde-differentiaalvergelijking van de vorm

$$\frac{dy}{dx} = \frac{P(x,y)}{Q(x,y)}$$

waarin de tijd-veranderlijke t niet meer voorkomt. Uitgaande van een willekeurig punt in het fasevlak (x,y) kan zo uit de helling dy/dx het gehele verloop van y als functie van x worden gevonden en dan, door een integratie, ook x als functie van t. Het verloop in het fasevlak is in fig. 4 aangegeven voor ε = 1. Het blijkt dat alle

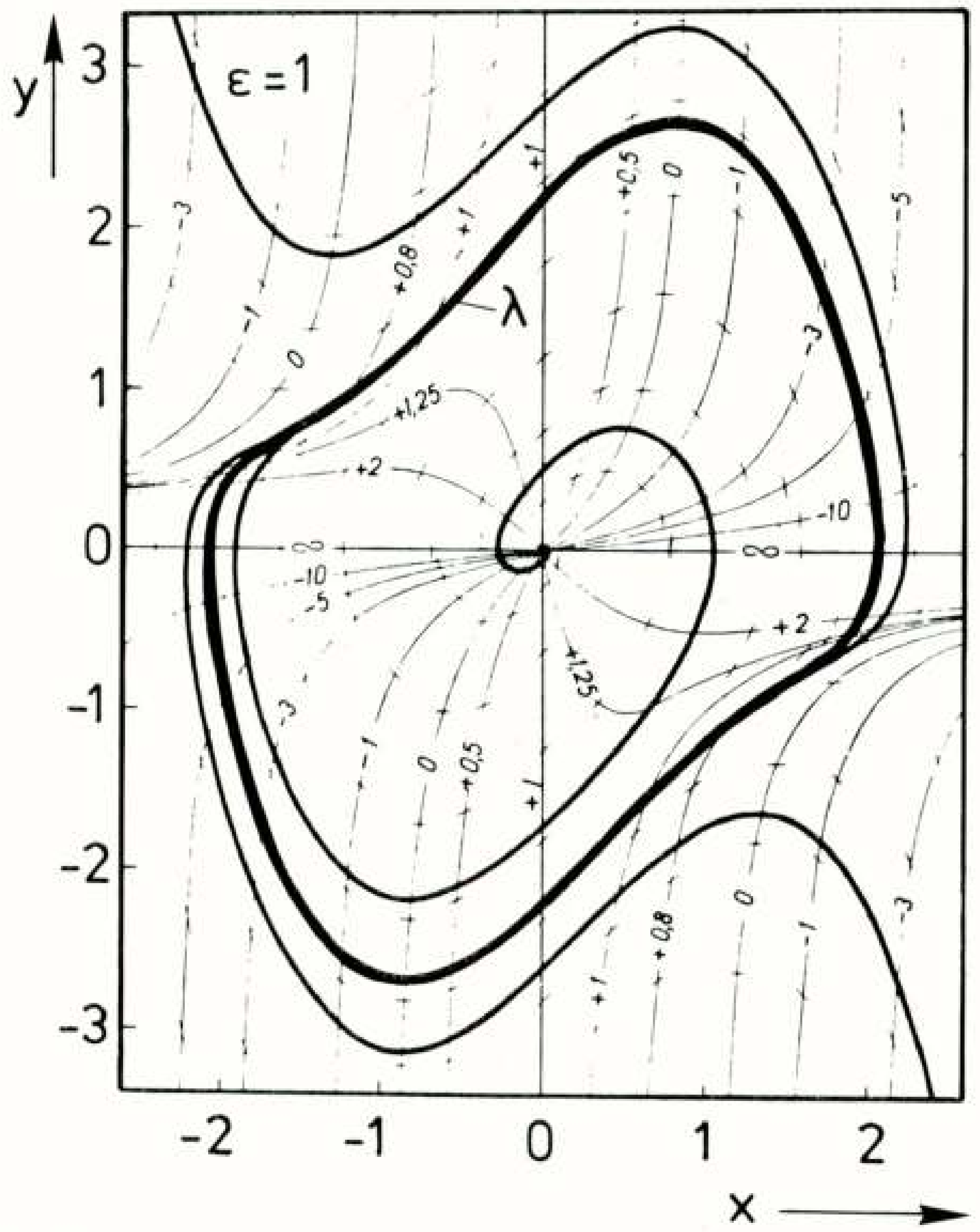


Fig. 4.

krommen asymptotisch naderen tot een gesloten kromme λ, een zogenaamde limit-cycle. Deze kromme correspondeert met de uiteindelijke bereikte spannings- en stroomvormen in de oscillatorkring. Naarmate ε groter is, worden de afwijkingen ten opzichte van sinusvormige tijdfuncties groter. Van der Pol duidde deze trillingen aan met de naam "relaxatietrillingen".

De presentatie van een niet-lineair systeem dat voldoet aan de (iets algemenere) differentiaalvergelijking

$$\frac{d^2x}{dt^2} + f(x)\frac{dx}{dt} + g(x) = 0$$

door middel van een punt in het fasevlak met de variabelen x en y = dx/dt is een machtig hulpmiddel bij de bestudering van niet-lineaire trillingen, zowel wat betreft de inschakelverschijnselen als wat betreft de periodieke toestand. De vraag of het systeem kan oscilleren, komt overeen met de vraag of er een limit-cycle λ bestaat. Poincaré, die het begrip limit-cycle introduceerde, heeft hier uitvoerig aandacht aan besteed, maar dat het geen eenvoudige materie is, moge blijken uit het feit dat pas in 1942, door Levinson en Smith, een eenvoudige en voldoende voorwaarde werd gevonden waaronder de laatste vergelijking een limit-cycle heeft [3].

De bovengenoemde fase-methode is te gebruiken voor alle systemen die beschreven kunnen worden door twee differentiaalvergelijkingen van het type:

$$\frac{dx}{dt} = Q(x,y)$$

$$\frac{dy}{dt} = P(x,y) \quad ,$$

dus bijvoorbeeld ook voor het eerder besproken probleem van intermitterend genereren. Daarbij kan y als de amplitude van de trilling in de trillingskring en x als de spanning over de condensator in de roosterleiding worden aangemerkt. De toestand van periodiek intermitterend oscilleren wordt dan beschreven door een limit-cycle in het (x,y)-vlak [4].

De in het fasevlak te voorschijn komende krommen, waarmee de veranderingen in niet-lineaire systemen kunnen worden weergegeven, kunnen van zeer uiteenlopende aard zijn [5]. Bijvoorbeeld kunnen alle punten binnen een gesloten kromme s (fig. 5) leiden tot een stabiele eindtoe-

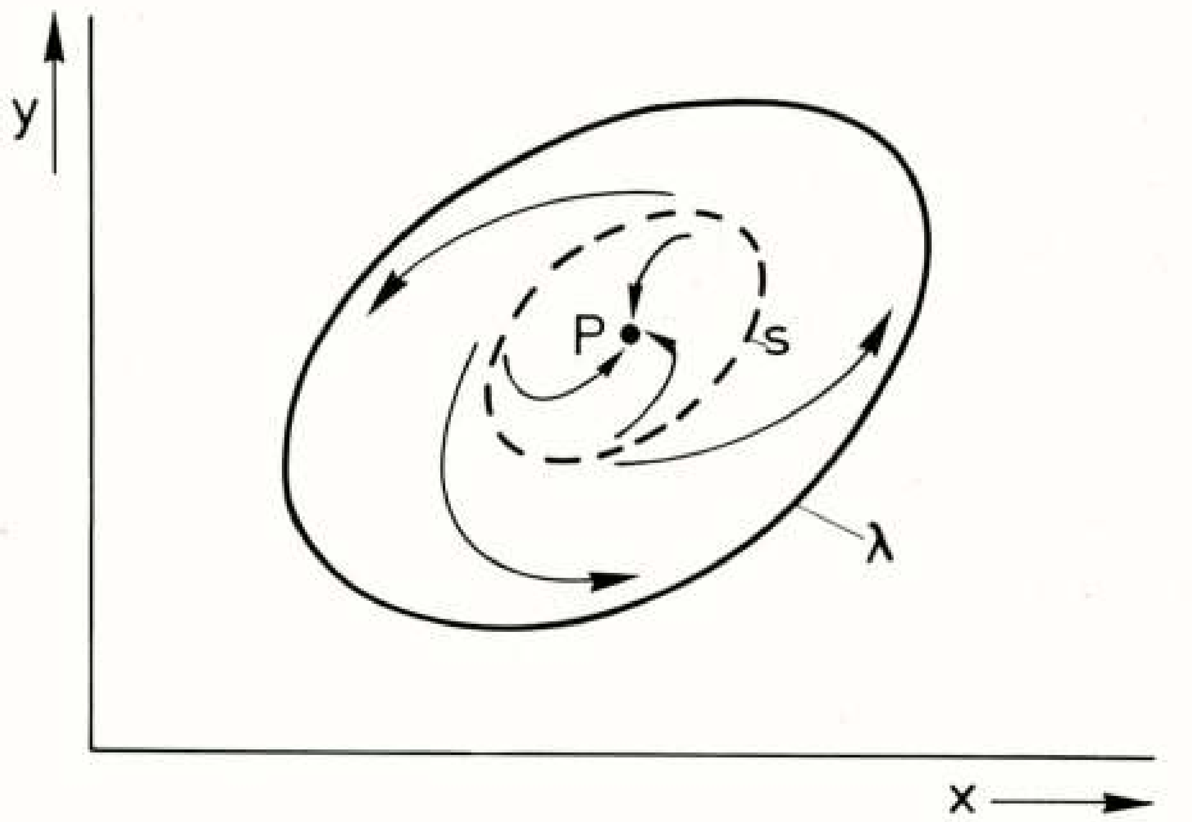


Fig. 5.

stand P en alle daarbuiten gelegen punten tot een limit-cycle λ, dus tot een oscillerende situatie. In dit geval dient men bijzonder op zijn hoede te zijn: op grond van lineaire benaderingen in de onmiddellijke omgeving van het punt P kan men (terecht) tot de conclusie komen dat het punt P stabiel is. Waar de buiten s liggende gevarenzone begint, is echter niet na te gaan zonder de niet-lineaire eigenschappen van het systeem te bestuderen. Daarom dient een op zichzelf stabiel regelsysteem in een chemisch proces ook zeer omzichtig te worden ingeschakeld, om te voorkomen dat een gehele fabriek ontploft. En een

zelfde gevaar dreigt bij discontinue veranderingen in een economisch systeem.

Niet-lineaire systemen hangen in de regel samen met niet-lineaire differentiaalvergelijkingen, maar men kan de definitie ook algemener stellen. In een lineair systeem geldt het superpositie-beginsel, dat wil zeggen dat het gevolg van de som van een aantal oorzaken gelijk is aan de som van de gevolgen van de afzonderlijke oorzaken. Wordt aan dit superpositie-beginsel niet voldaan, dan kan men per definitie stellen dat het systeem niet-lineair is. Hieronder valt, om een voorbeeld van Van der Pol aan te halen, iedere uitvinding. Deze moet een nog onbekend effect sorteren, dat niet zonder meer uit de samenvoeging van reeds bekende effecten volgt. Daarmee behoort elke uitvinding tot de klasse van de niet-lineaire verschijnselen. Verder is een toetsing aan het superpositie-beginsel vaak gemakkelijk wanneer er sprake is van meer veranderlijken, waarbij tussen sommige wel en andere geen lineaire betrekkingen bestaan.

Wellicht de bekendste generator voor het opwekken van relaxatietrillingen is de multivibrator van Abraham en Bloch [6], zie fig. 6. Is de rondgaande versterking

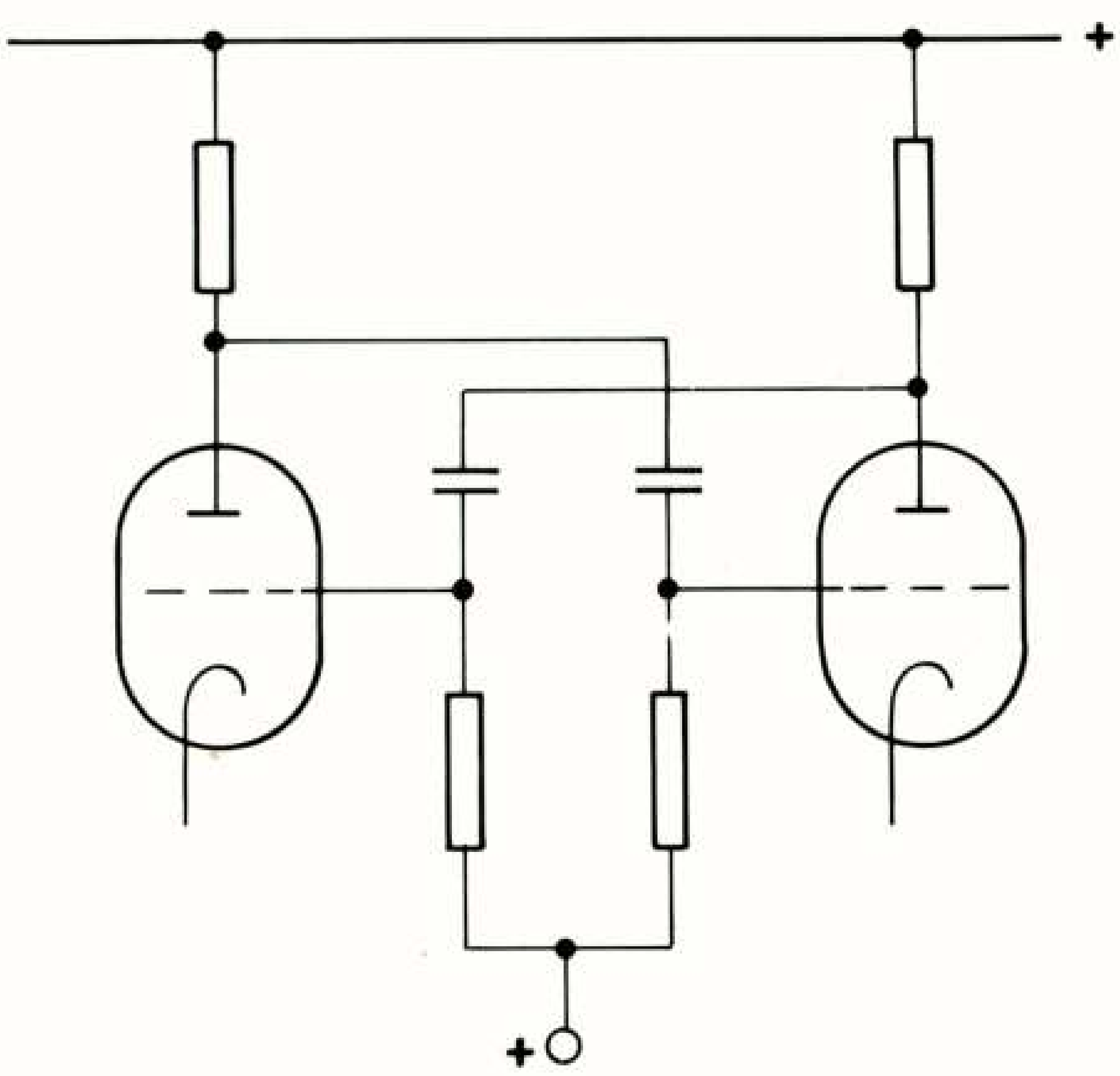


Fig. 6.

hierin niet te klein, dan is er geen evenwichtstoestand mogelijk waarin de beide buizen stroom voeren: elke daling van de roosterspanning in één van de buizen zou onmiddellijk een nog grotere spanningsdaling tot gevolg hebben, waardoor uiteindelijk deze buis volledig wordt uitgeschakeld. Ten gevolge van de zich ontladende condensator kan deze toestand echter niet voortduren, zodat na enige tijd het omschakelproces in de andere richting volgt. Zo ontstaat aan elke anode een vrijwel rechthoekige spanningsvorm met een periode die bepaald wordt door de grootte van de condensatoren, weerstanden en aangelegde spanningen. Wegens het grote aantal hierin aanwezige frequentiecomponenten werd deze schakeling door Abraham en Bloch een "multivibrator" genoemd.

FREQUENTIE- EN FASEREGELING

Gebruik makende van een oscillator en een niet-lineair element is men in staat geweest schakelingen te ontwerpen waarin:

A. De opgewekte frequentie een lineaire functie is van een gegeven ingangsspanning. Dit is nodig bij frequentie-modulatie (FM).

B. De opgewekte trilling precies in de pas blijft lopen met een gegeven periodieke ingangsspanning. Dit is een synchronisatieprobleem, onder andere voorkomend in data-transmissie.

C. De opgewekte frequentie in een gegeven rationele verhouding staat tot een gegeven frequentie. Dit is van belang bij radio-communicatie.

In A kan men uitgaan van een niet-lineaire tegengekoppelde versterker als aangegeven in fig. 7. De ingangs-

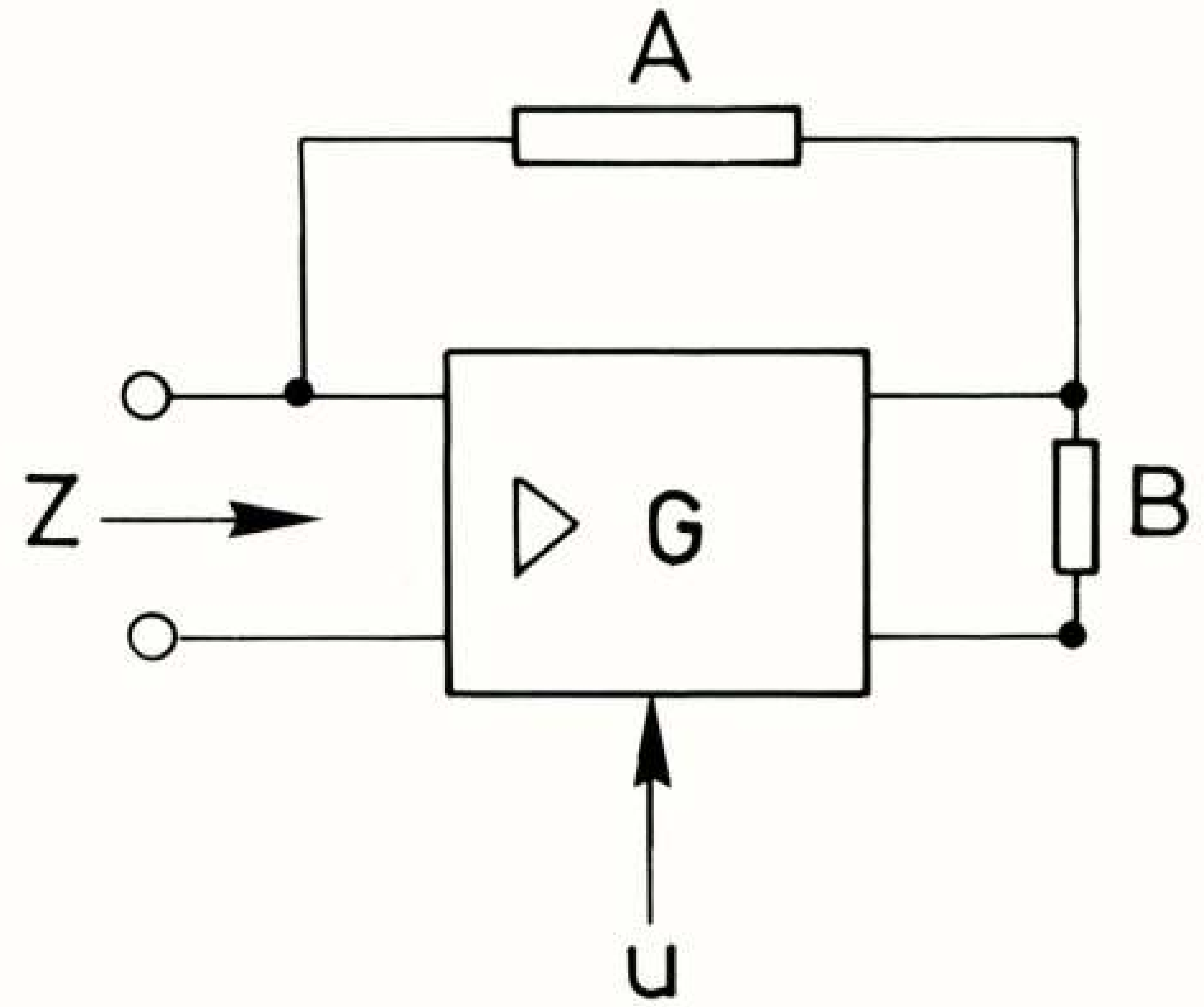


Fig. 7.

impedantie Z is afhankelijk van de versterkingsfactor G en de tussen de in- en uitgang geschakelde impedanties A en B. Zijn G, A en B reëel, dan geldt dit ook voor Z. Kiest men één van de impedanties A en B reactief, dan bevat ook Z een reactieve component. Door deze schakeling parallel te plaatsen aan de trillingskring van een oscillator kan men daarvan de zelfinductie ofwel de capaciteit veranderen in afhankelijkheid van de spanning u. Bij een kleine variatie van Z kan men zo, vooral bij hoge frequenties, een bij benadering lineair verband tussen de aangelegde spanning u en de opgewekte frequentie f realiseren. Dit is van belang voor frequentiegemoduleerde omroepzenders en voor straalzenders in het openbare telefoonnet.

Om de bovengenoemde frequentiegemoduleerde trillingen te ontvangen zijn overigens nog twee niet-lineaire

circuits van essentieel belang. Het eerste is een op een laag niveau werkende begrenzer, die er voor zorgt dat de voor de FM-detectie vereiste constante amplitude wordt gerealiseerd. Het tweede is de frequentie-discriminator die op éénduidige wijze de frequentie (een mathematische grootheid) moet omzetten in een spanning (een fysische grootheid). Op zichzelf zijn dit eenvoudige circuits: het eerste is te realiseren met behulp van een versterker en een daarop volgende diode-begrenzer, het tweede door middel van twee afgestemde kringen met een iets verschoven resonantiefrequentie, waarbij, met behulp van top-detectie met twee gelijkrichters, het verschil in amplitude van de in beide kringen opgewekte trillingen gemeten wordt. Zonder deze niet-linaire schakelingen zouden wij de ruisvrije ontvangst van FM-zenders moeten ontberen.

Een mogelijkheid om op eenvoudige - en doordringende - wijze in het akoestische gebied de frequentie van een oscillator te variëren is ons welbekend sedert de tweede wereldoorlog: de huiltoon van luchtalarmsirenes werd daarbij opgewekt door middel van spanningsveranderingen in de bovengenoemde multivibrator.

Het in B gestelde probleem zou heel eenvoudig zijn op te lossen, wanneer het ingangssignaal sinusvormig was: men zou dan kunnen volstaan met een gewone versterker. In de in de praktijk van belang zijnde gevallen is de gezochte sinusvormige component echter vaak omgeven door een continu spectrum, dat vele malen sterker kan zijn dan de gezochte component. Zelfs in die mate dat deze component in de tijdfunctie van het binnenkomende signaal nauwelijks waarneembaar is. In dit geval zou men geneigd zijn om zijn toevlucht te nemen tot een versterker met een zeer smal bandfilter, teneinde deze zwakke frequentiecomponent te kunnen uitfilteren. Dit is ongetwijfeld mogelijk, doch er schuilt een gevaarlijke adder onder het gras. In een dergelijk bandfilter treedt een steil faseverloop op, des te steiler naarmate de bandbreedte kleiner is. Zou dus de gezochte frequentiecomponent ook maar iets in frequentie veranderen, dan zou er direct een ongewenst faseverschil in het uitgangssignaal optreden - en dat is juist wat we willen voorkomen. Daarom is dit één van de typische problemen die we met lineaire technieken niet kunnen oplossen.

We kunnen echter gebruik maken van de onder A besproken geregelde oscillator, waarin de frequentie f_0 afhankelijk is van de gelijkspanning u. Deze is in het schema van fig. 8 opgenomen onder de gebruikelijke naam

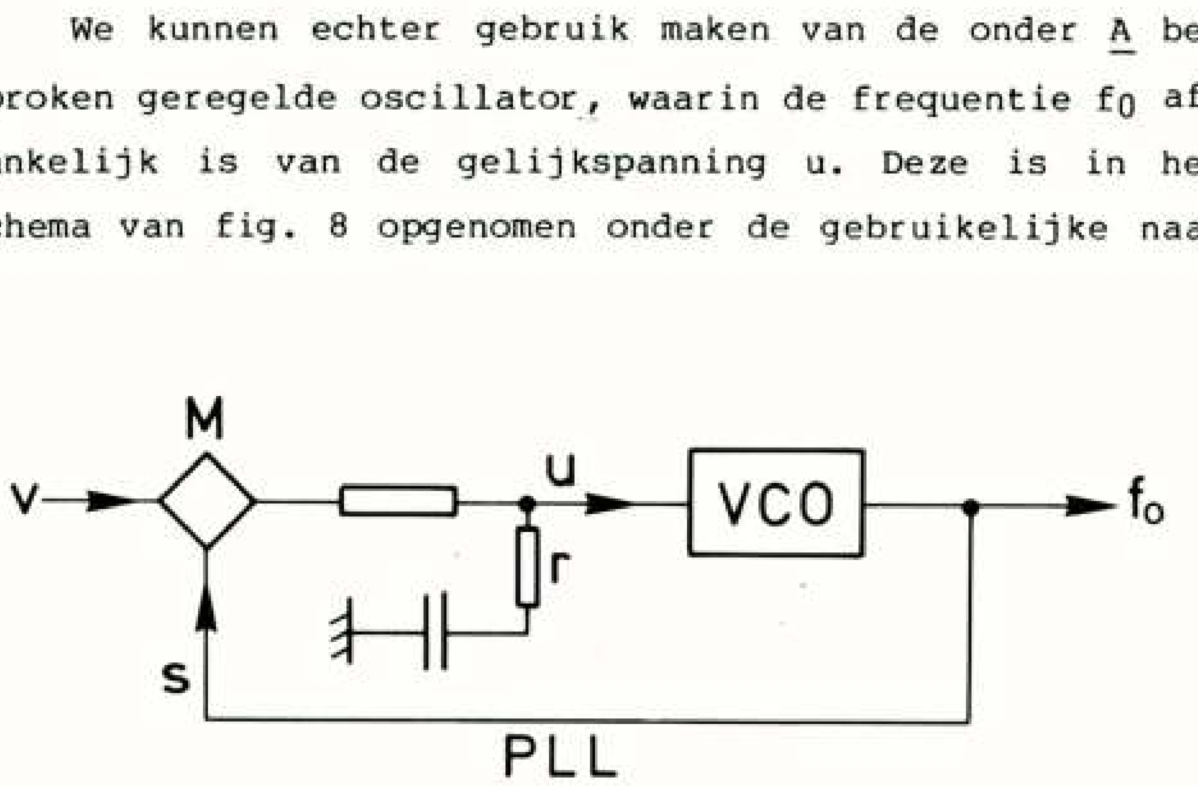


Fig. 8.

VCO: voltage-controlled oscillator. Verder is in dit schema een modulator M opgenomen die werkt als schakelaar: de ingangsspanning v wordt beurtelings vermenigvuldigd met +1 of -1, overeenkomstig de polariteit van de schakelspanning s, die aan de oscillator wordt ontleend. Is in het ingangssignaal v nu ook een component van de frequentie f_0 aanwezig, dan ontstaat daardoor een gelijkspanning u die afhankelijk is van het faseverschil tussen deze componenten in de spanningen s en v. Door de gevoeligheid van de VCO zeer groot te maken stelt zich de evenwichtstoestand zo in dat de spanning u zeer klein wordt, wat betekent dat dit faseverschil practisch 90° bedraagt. Bij een kleine verandering van de frequentie f_0 in het ingangssignaal blijft dit faseverschil van praktisch 90° gehandhaafd, zodat inderdaad de oscillator deze component op de voet volgt.

Ondanks twee fouten in deze redenering wil de bovengenoemde schakeling (vaak aangeduid als PLL: phase-locked loop) toch wel op de aangegeven wijze werken. De eerste fout (of beter gezegd: slordigheid) hebben we begaan door deze redening te baseren op een evenwichtstoestand, zonder ons af te vragen of deze evenwichtstoestand wel stabiel is. Dit te onderzoeken is niet moeilijk. Zoals in vrijwel alle niet-lineaire systemen kan men kleine afwijkingen van een evenwichtstoestand beschrijven door middel van lineaire differentiaalvergelijkingen, wat in dit geval leidt tot een bekend probleem uit de regeltechniek. Het blijkt dan dat de schakeling inderdaad stabiel is, zolang het afvlakfilter tussen de modulator M en de VCO maar uit één RC-filter wordt opgebouwd. En daarbij dient - om ongewenste resonatieverschijnselen te voorkomen - ook nog een kleine weerstand r tussen het aftakpunt en de condensator te worden opgenomen, waarvan de grootte moet zijn aangepast aan de gevoeligheid van de VCO.

De tweede fout is meer essentieel en daardoor ook interessanter: er bestaat geen enkele reden om a priori aan te nemen dat de frequentie van de oscillator overeenkomt met die van de gezochte component in het ingangssignaal. Wat er bij een verschil tussen deze beide frequenties gebeurt, kan slechts worden onderzocht aan de hand van een niet-lineaire differentiaalvergelijking. Dit probleem is in 1960 geanalyseerd door T.J. Rey [7]. Bij een gegeven frequentieverschil zijn de beide componenten af en toe in fase of in tegenfase. Ten gevolge van de terugkoppeling zijn de daarbij aan de uitgang van de modulator M opgewekte spanningen verschillend. Over een gehele periode zal dit een netto-effect hebben op de verandering van de afgevlakte spanning u, waardoor de door de oscillator opgewekte frequentie gemiddeld dichter bij de frequentiecomponent in het ingangssignaal komt te liggen. Dit effect is cumulatief, waardoor op een zeker moment de beide frequenties exact aan elkaar gelijk kunnen komen. In dat geval treedt de hiervoor genoemde evenwichtstoestand op. Is echter het verschil tussen de rustfrequentie van de oscillator en de component in het ingangssignaal

te groot, dan lukt dit niet. Dientengevolge is er een "vanggebied" aan te wijzen, waarbinnen de frequentie van de oscillator zich altijd zal richten op die van een sinusvormige component in het ingangssignaal. De grootte van dit vanggebied is in de regel kleiner dan het "houdgebied" - dat wil zeggen het gebied waarover men een eenmaal gevangen oscillator, door heel voorzichtige veranderingen, nog met zich mee kan lokken. Op de toepassing van deze schakeling komen we terug bij het onderwerp "datatransmissie".

Probleem C is op te lossen door gebruik te maken van frequentievermenigvuldiging en frequentiedeling. Het eerste ligt geheel in de aard van niet-lineaire elementen. Immers bij een karakteristiek van de vorm

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \ldots ,$$

zal elke ingangsspanning van de vorm

$$x = \cos \omega t$$

via de bijdrage $(\cos \omega t)^n$ een component van de vorm $\cos n\omega t$ opleveren, die dan met behulp van een bandfilter of de hiervoor genoemde PLL-schakeling kan worden uitgefilterd.

Voor een frequentiedeling kan men de omgekeerde weg bewandelen door een dergelijk circuit in een terugkoppelketen op te nemen (fig. 9). Hierin wordt de frequentie f_0 geleverd door een gegeven oscillator en de hierop via de modulator M aangesloten VCO levert de gewenste frequentie f_0/m. Het niet-lineaire element NL veroorzaakt dan een spectrum van hogere harmonischen, waaronder f_0. En door deze aan de modulator M toe te voeren ontstaat weer de regelspanning u die de oscillator met de frequentie f_0/m in de pas houdt.

Met behulp van dergelijke faselussen (waarin ook modulatietrappen en instelbare frequentiedelers worden opgenomen) is men er in geslaagd om, uitgaande van één stabiele oscillator met een kwartskristal, de in radiocommunicatie benodigde frequenties met grote stabiliteit en zuiverheid op te wekken [8,9].

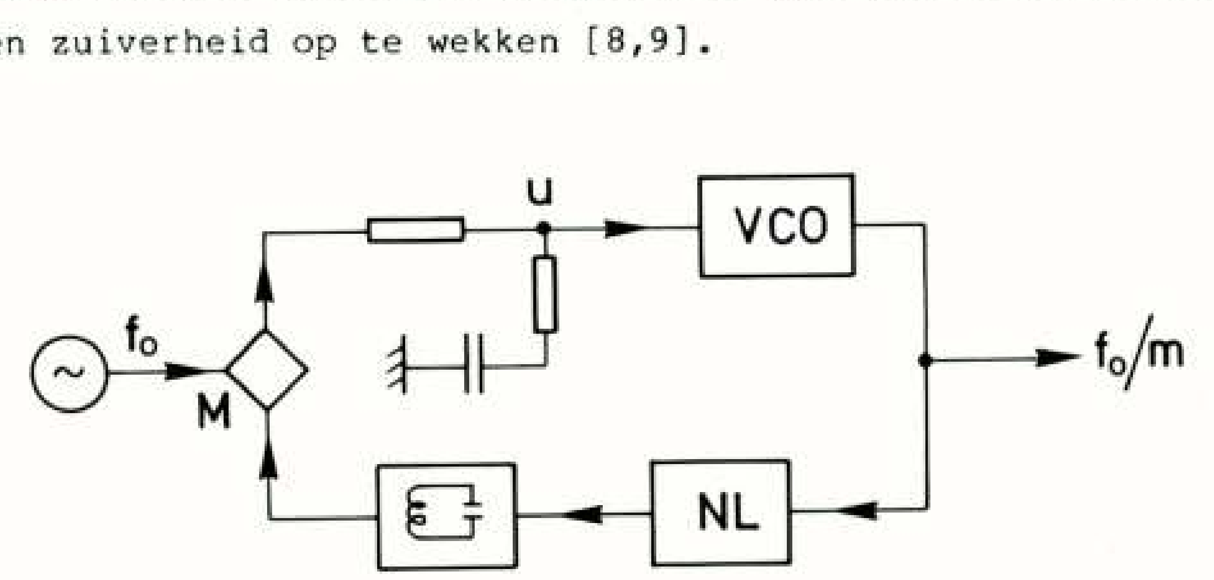


Fig. 9.

BUNDELING VAN KANALEN

Vele decennia heeft er een gelukkig huwelijk bestaan tussen niet-lineaire elementen in de vorm van modulatoren en lineaire circuits bestaande uit versterkers en bandfilters. De vruchten hiervan, in de vorm van draaggolfverbindingen, hebben het mogelijk gemaakt vele telefoniekanalen op gemeenschappelijke aders te realiseren, daarbij gebruik makende van een scheiding in verschillende frequentiebanden.

Als basiselement voor de verplaatsing van de oorspronkelijke frequentieband naar een ander deel van het frequentiespectrum wordt de in fig. 10 geschetste ringmodulator gebruikt.

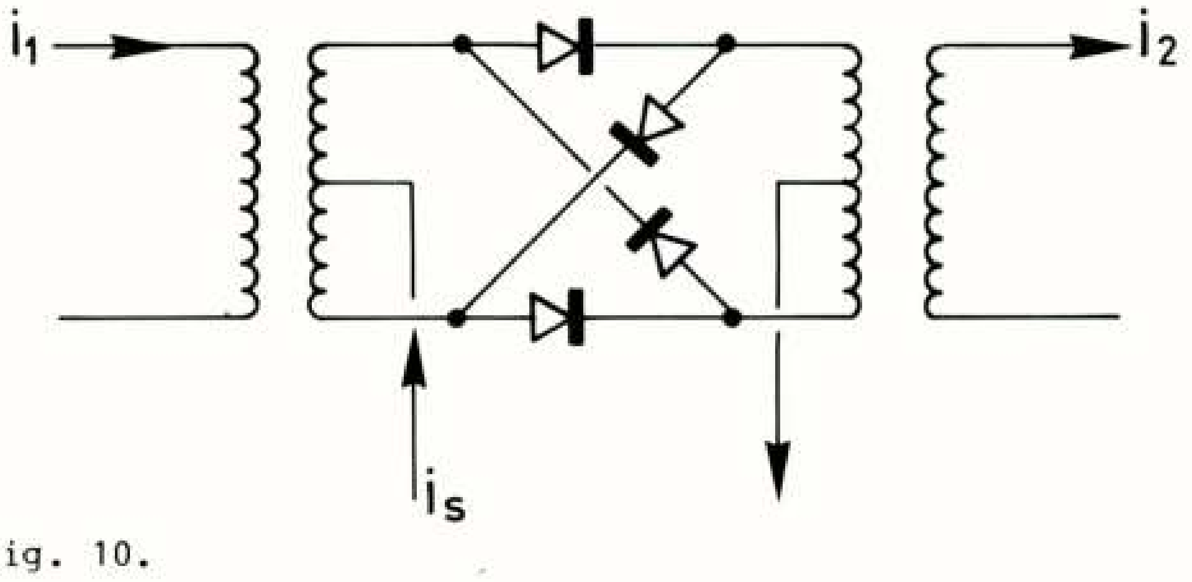


Fig. 10.

Daarbij worden door een schakelstroom i_s de diodes in de horizontale en schuine takken beurtelings geleidend gemaakt, waardoor het binnenkomende signaal respectievelijk met +1 en -1 wordt vermenigvuldigd:

$i_2 = i_1 f(t)$, waarin:

$$f(t) = \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2n-1} \sin (2n-1)\omega t$$

Bij een ingangsstroom i_1, met de radiale frequentie μ vindt men daardoor in i_2 de frequentiecomponenten $\omega \pm \mu$, $3\omega \pm \mu$, enzovoort, als aangegeven in fig. 11. Door de

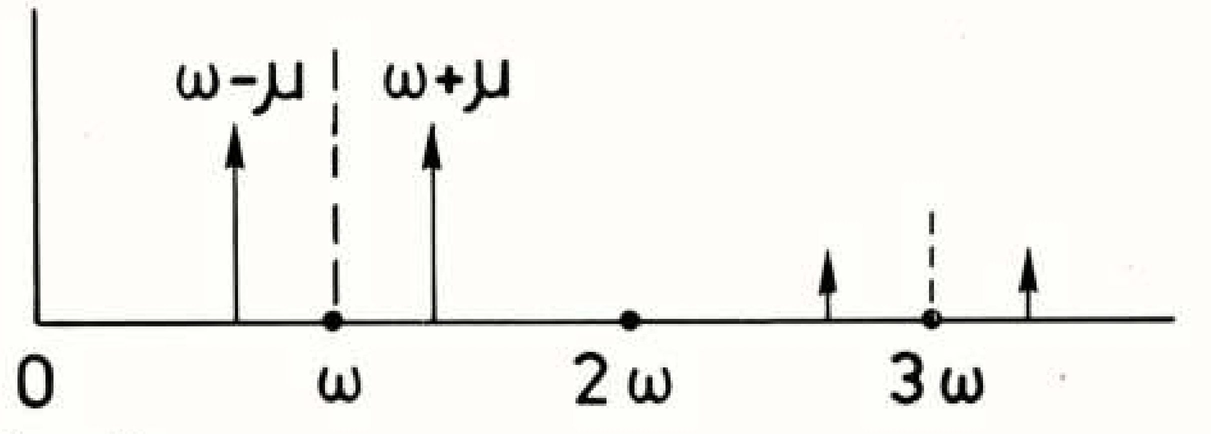


Fig. 11.

boven- of onderzijband van de draaggolffrequentie ω met behulp van een bandfilter uit te filteren is dan de gewenste verschuiving in het frequentiespectrum gerealiseerd. Ondanks het gebruik van niet-lineaire elementen (diodes) is hier dus toch een lineair verband tussen in- en uitgangssignalen aanwezig.

Deze draaggolftechniek heeft ons in staat gesteld op belangrijke wijze het aantal telefonie-kanalen over de gehele wereld uit te breiden zonder het aantal in de grond te leggen koperdraden noemenswaardig te vergroten.

Zij heeft slechts één bezwaar: ten gevolge van de hoge eisen aan de betreffende filters, die alle uit spoelen en condensatoren moeten worden samengesteld en de strenge eisen aan de lineariteit van alle tussengeschakelde versterkers om het overspreken tussen verschillende kanalen te voorkomen, is zij relatief duur.

Nu heeft de tweede wereldoorlog, mede ten behoeve van de radartechniek, de stoot gegeven tot de ontwikkeling van pulstechnieken. Daardoor lag het voor de hand om te onderzoeken of het niet voordeliger was in multiplexverbindingen de kanalen van elkaar te scheiden op basis van een tijd-indeling, in plaats van de genoemde frequentie-indeling. Het principe is geïllustreerd in fig. 12.

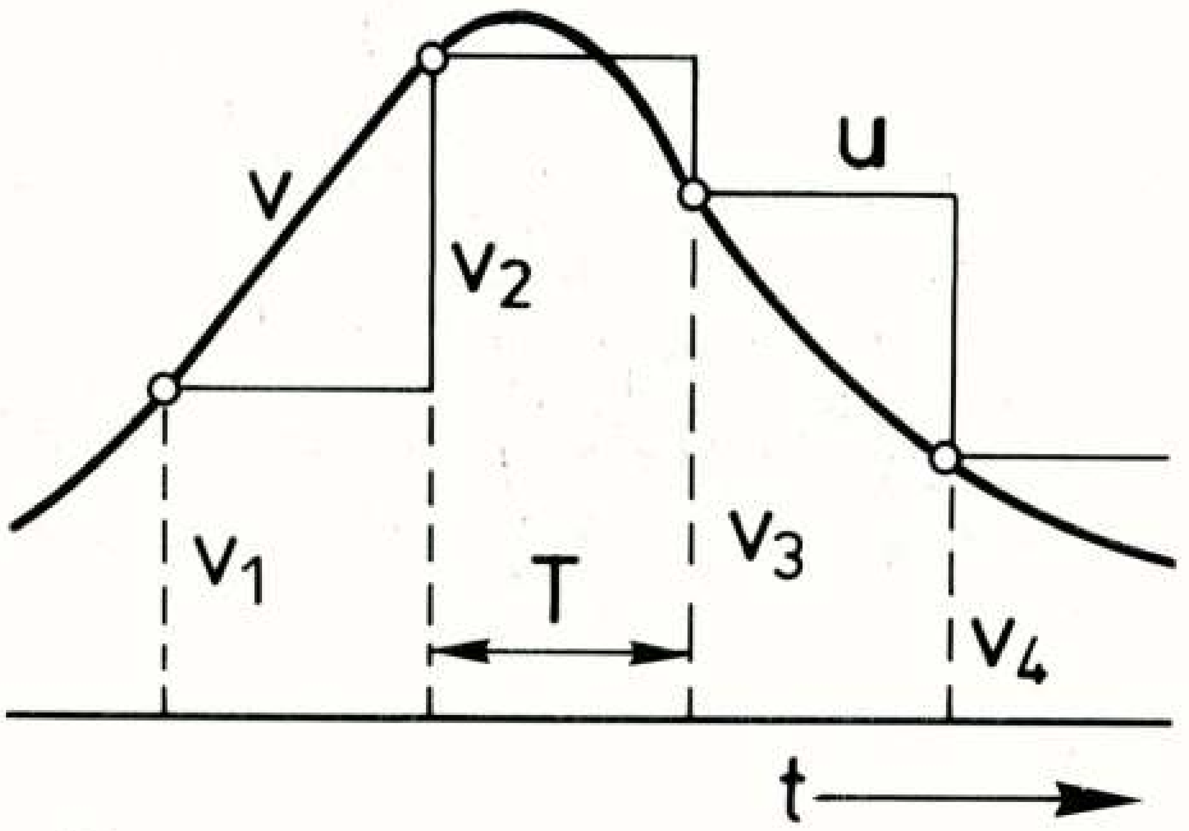


Fig. 12.

Het continue signaal v wordt daarbij vervangen door het discontinue signaal u, dat alleen op aequidistante tijden met v overeenkomt. Het blijkt dan (op grond van het "bemonsterings"-theorema) dat alle informatie die in v aanwezig is, ook in u wordt teruggevonden, mits de bemonsteringsperiode T maar kleiner is dan de halve periode van de hoogste in v aanwezige frequentie. Zelfs is het daarbij mogelijk om met behulp van een op de juiste wijze aangepast laagdoorlatend filter uit het discontinue signaal u het continue signaal v - met een zekere tijdvertraging - weer op te wekken. Op grond van deze mogelijkheid kan het signaal v worden overgezonden met behulp van smalle pulsen met de amplitudes v_1, v_2, v_3, ... en kunnen de tussenliggende tijdsintervallen worden gebruikt voor andere kanalen.

Het discontinue signaal u kan uit het continue signaal v worden opgewekt met behulp van een bemonsteringscircuit ("sample-and-hold" circuit) volgens fig. 13, waarin door middel van een puls p(t) kortstondig een uit diodes opgebouwde schakelaar wordt gesloten en de hierop aangesloten condensator de betreffende spanning vasthoudt. Dezelfde techniek kan natuurlijk ook worden gebruikt om het signaal u uit de genoemde smalle pulsen v_n te recontrueren.

Aangezien in deze tijdmultiplex-systemen toch met smalle pulsen gewerkt wordt, heeft het zin zich af te

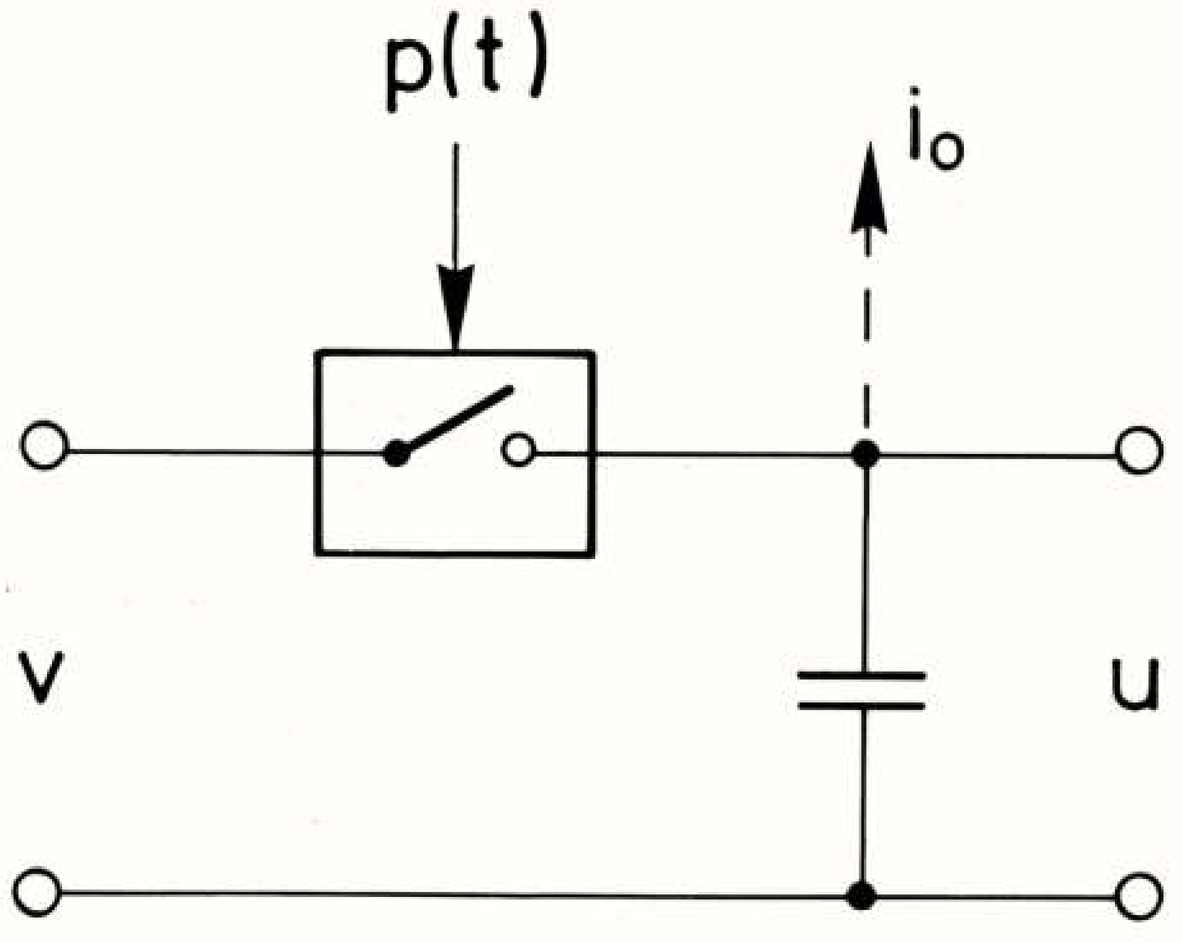


Fig. 13.

vragen of het enig nut heeft deze pulsen nog verder te versmallen. De bandbreedte wordt dan evenredig groter, de breedte van de puls evenredig kleiner en de hoogte (bij gelijk zendvermogen) stijgt evenredig met de wortel uit de gebruikte bandbreedte. Daar dit laatste tevens geldt voor de effectieve waarde van de ruisspanning blijft daarbij dezelfde verhouding tussen de ontvangen puls- en ruisamplitude bestaan en men zou hieruit (ten onrechte) kunnen concluderen dat het geen zin heeft om smalle pulsen te gebruiken. Bij nadere analyse blijkt echter dat men in dit geval beter de pulsen in tijd dan in amplitude kan moduleren. De ruisonderdrukking is dan (evenals bij frequentiemodulatie) evenredig met de in gebruik genomen bandbreedte. Deze tijd-modulatie kan gemakkelijk worden gerealiseerd door aan de condensator in het "sample-and-hold" circuit uit fig. 13 een constante stroom i_0 te onttrekken: het ogenblik waarop de spanning over de condensator de waarde nul bereikt is dan het karakteristieke moment voor het uitzenden van een puls en dit tijdstip staat in een lineair verband met de over te brengen signaalspanning.

Op deze wijze zijn de eerste tijdmultiplex-verbindingen gerealiseerd waarin geen dure bandfilters meer nodig waren. Toch heeft men met dit type multiplex-systeem de draaggolftelefonie niet kunnen verdringen. En wel om een zeer principiële reden, die samenhangt met de impulsresponsie in lineaire netwerken. Men kan namelijk niet gelijktijdig de bandbreedte en de totale tijdsduur van de overgezonden pulsen tot eindige waarden beperken. Dientengevolge leiden de "staarten" in de impulsresponsies tot storingen in de naastliggende kanalen, met een verstaanbare vorm van overspreken als gevolg. Aan de hoge eisen voor kanaalscheiding in openbare telefoonverbindingen heeft men dan ook met deze tijdmultiplex-systemen niet of nauwelijks kunnen voldoen. Een bandfilter mag dan duur zijn - het is een zeer effectief middel voor de ongerechtigheden die in de frequentiegebieden van naastliggende kanalen zouden kunnen terechtkomen. De strijd tus-

sen lineaire en niet-lineaire technieken in de telefonie was daarmee echter nog niet beslecht. Want als gevolg van de toepassing van nieuwe principes hebben de draaggolfverbindingen hun vooraanstaande positie tenslotte toch moeten prijsgeven.

KWANTISERING EN CODERING

Alle hiervoor besproken circuits zijn opgebouwd uit elementen met een niet-lineaire, doch continue karakteristiek (buizen, transistors, diodes). De mogelijkheden worden echter veel groter bij gebruikmaking van een discontinue karakteristiek, als geschetst in fig. 14. Let wel:

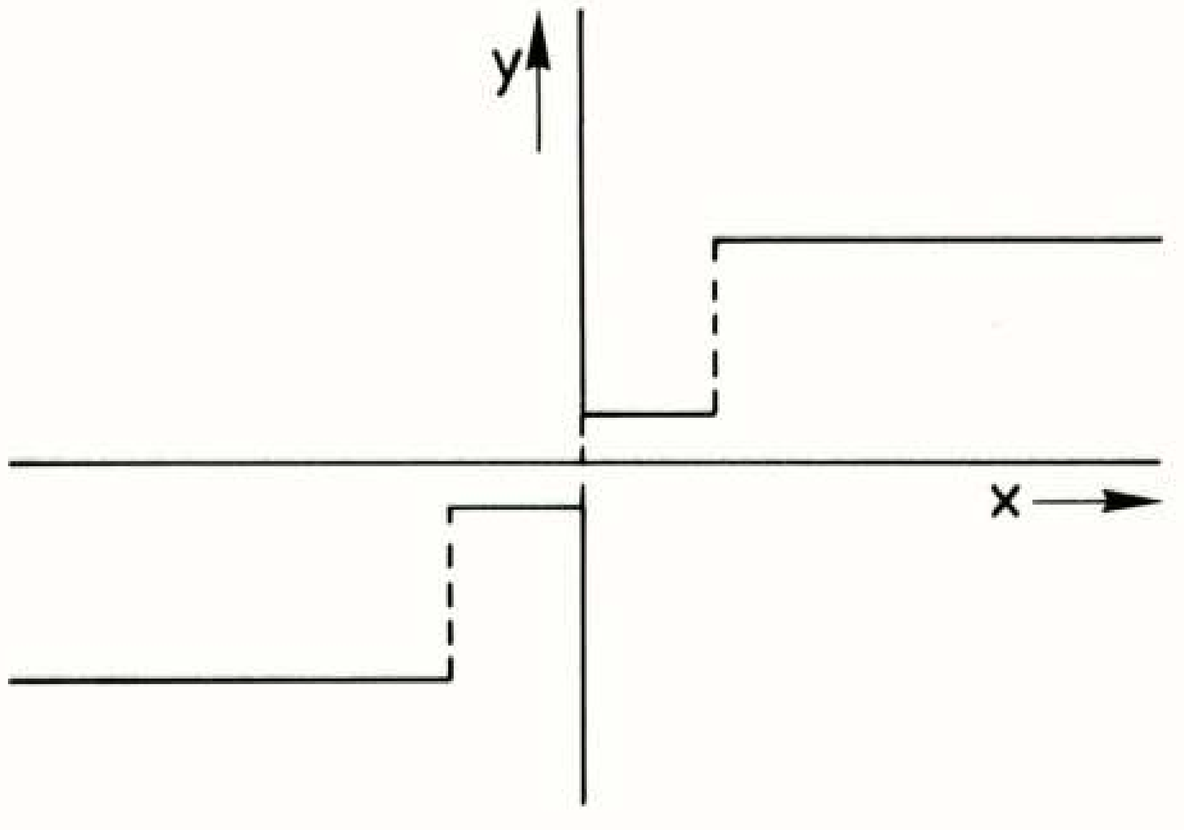


Fig. 14.

dit is geen benadering van een continue karakteristiek, doch één waarbij de punten op de gestippelde takken fysisch niet realiseerbaar zijn, althans niet in een stabiele situatie. Er moet dan een of ander mechanisme werkzaam zijn dat evenwichtstoestanden op de gestippelde takken onmogelijk maakt. De beperking tot bepaalde toegelaten waarden in het uitgangssignaal y wordt "kwantisering" genoemd en de toekenning van een getal aan deze niveaus "codering".

Een situatie waarin slechts één kwantiseringsniveau aanwezig is wordt aangetroffen in het zenuwstelsel van mens en dier. Bij een zenuw wordt in de rusttoestand tussen het inwendige en de omgeving van de zenuwvezel een potentiaalverschil gemeten van circa 60 mV, in stand gehouden door een verschil in concentratie van Na-, Ca- en K-ionen. Wordt de zenuw geactiveerd door een electrische prikkel, dan verandert dit potentiaalverschil in polariteit. Daardoor wordt de doorlaatbaarheid van de wand van de zenuwcel voor deze ionen gewijzigd en plant de verstoring zich voort met een snelheid van ongeveer 100 m/s. Opmerkelijk is dat de amplitude van deze verstoring daarbij constant blijft en onafhankelijk is van de grootte van de oorspronkelijke prikkel (mits gelegen boven een zekere drempelwaarde). Pas na een tijd van circa 3 ms heeft de evenwichtstoestand zich hersteld en kan een volgende prikkel worden doorgegeven.

Deltamodulatie

Het feit dat elke zintuiglijke waarneming onze hersenen op deze wijze bereikt, was voor de fysicus Jan Schouten aanleiding zich af te vragen of dit principe ook niet zou kunnen worden gebruikt voor de overdracht van telefoniesignalen (fig. 15). Men zou daarbij, uitgaande van pulsen

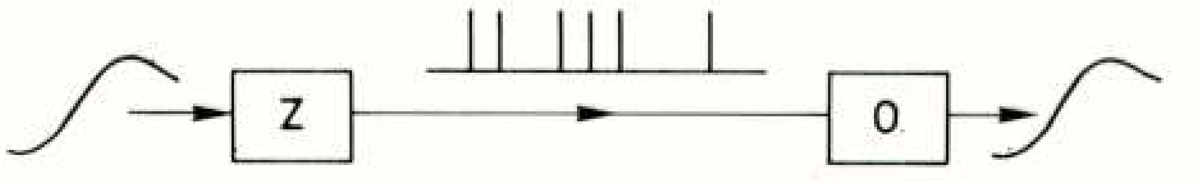


Fig. 15.

van constante amplitude, kunnen denken aan een dichtheidsfluctuatie. Doch ten behoeve van telecommunicatie-eisen (kanaalscheiding) is het wenselijker deze pulsen uitsluitend op van te voren vastgestelde tijdstippen over te zenden. In de ontvanger hoeft men dan slechts te beslissen of op het betreffende moment wel of geen puls aanwezig is. En aan de zendzijde moet daartoe het over te brengen informatiesignaal worden omgezet in een 1/0-pulspatroon.

In deltamodulatie wordt een dergelijke pulsreeks opgewekt volgens het schema uit fig. 16 [10]. Daarbij wordt

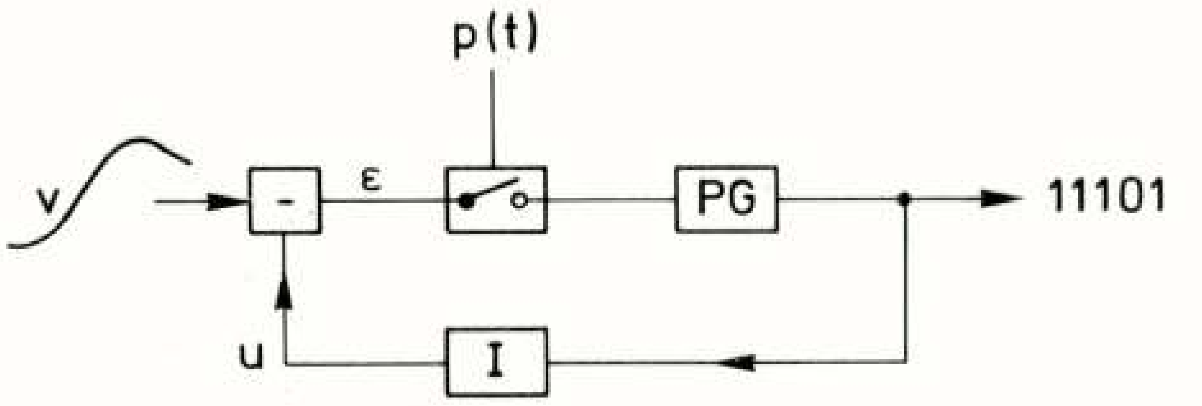


Fig. 16.

het continue ingangssignaal v vergeleken met een rechthoekig benaderingssignaal u (fig. 17) dat tot stand is gekomen door positieve of negatieve pulsen van constante amplitude aan een integrator I toe te voeren. De vraag of

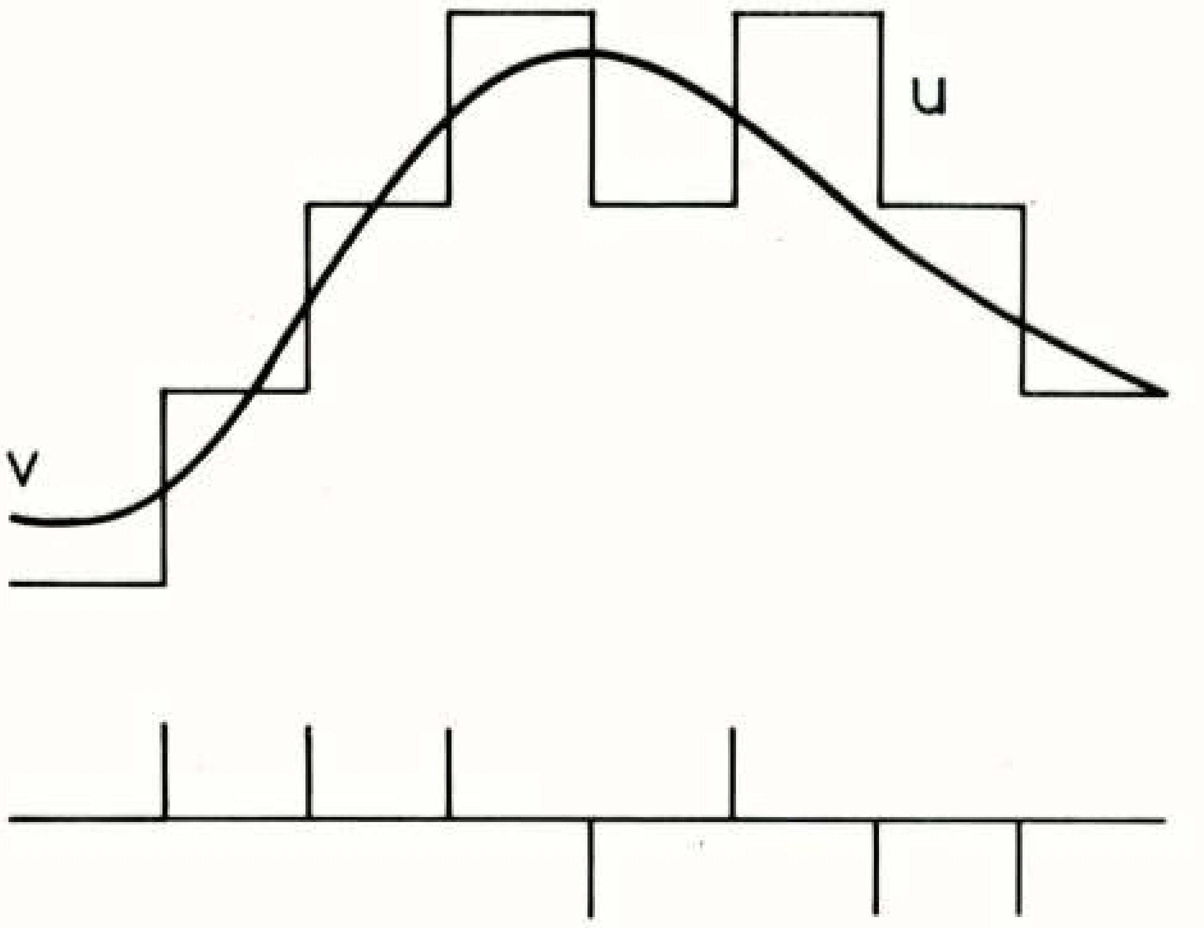


Fig. 17.

de volgende puls positief of negatief moet worden, wordt daarbij bepaald door de polariteit van het verschilsignaal ε op het tijdstip van een puls uit de periodieke pulsreeks p(t). Op deze wijze slingert het benaderingssignaal u zich om het informatiesignaal v, en aangezien het op eenduidige wijze uit de opgewekte pulsreeks is opgebouwd, kan het ook aan de ontvangzijde worden gereconstrueerd. Wordt dit rechthoekige benaderingssignaal dan toegevoerd aan een laagdoorlatend filter, dan worden daarin veel van deze (boven de informatieband liggende) slingeringen onderdrukt, waardoor de uiteindelijke afwijking in het gereconstrueerde signaal aanzienlijk kleiner kan worden. Zo kan men deltamodulatie formuleren als een techniek om het gewenste signaal op te wekken aan de uitgang van een lineair netwerk, als responsie op een ingangssignaal dat uitsluitend bestaat uit pulsen van de waarde +1 en -1 (ofwel 1 en 0).

Op gezette tijden zal het verschilsignaal ε aan de zendzijde bijzonder klein zijn. Men dient dan te voorkomen dat er halve, of geen, pulsen door de pulsgenerator PG worden afgeleverd, want dan zou het benaderingssignaal aan de ontvangzijde niet eenduidig bepaald kunnen worden. Daarom moet deze pulsgenerator steeds gedwongen worden te beslissen of hij aan de ene of de andere situatie de voorkeur geeft. Een dergelijk "beslissingscircuit" is mechanisch gemakkelijk te verwezenlijken door aan de wijzer van de voltmeter die de verschilspanning ε aangeeft een elastiekje e op te hangen en dit op een bepaald moment met een grote kracht K naar beneden te trekken (fig. 18). Een elektrische schakeling die hetzelfde doet,

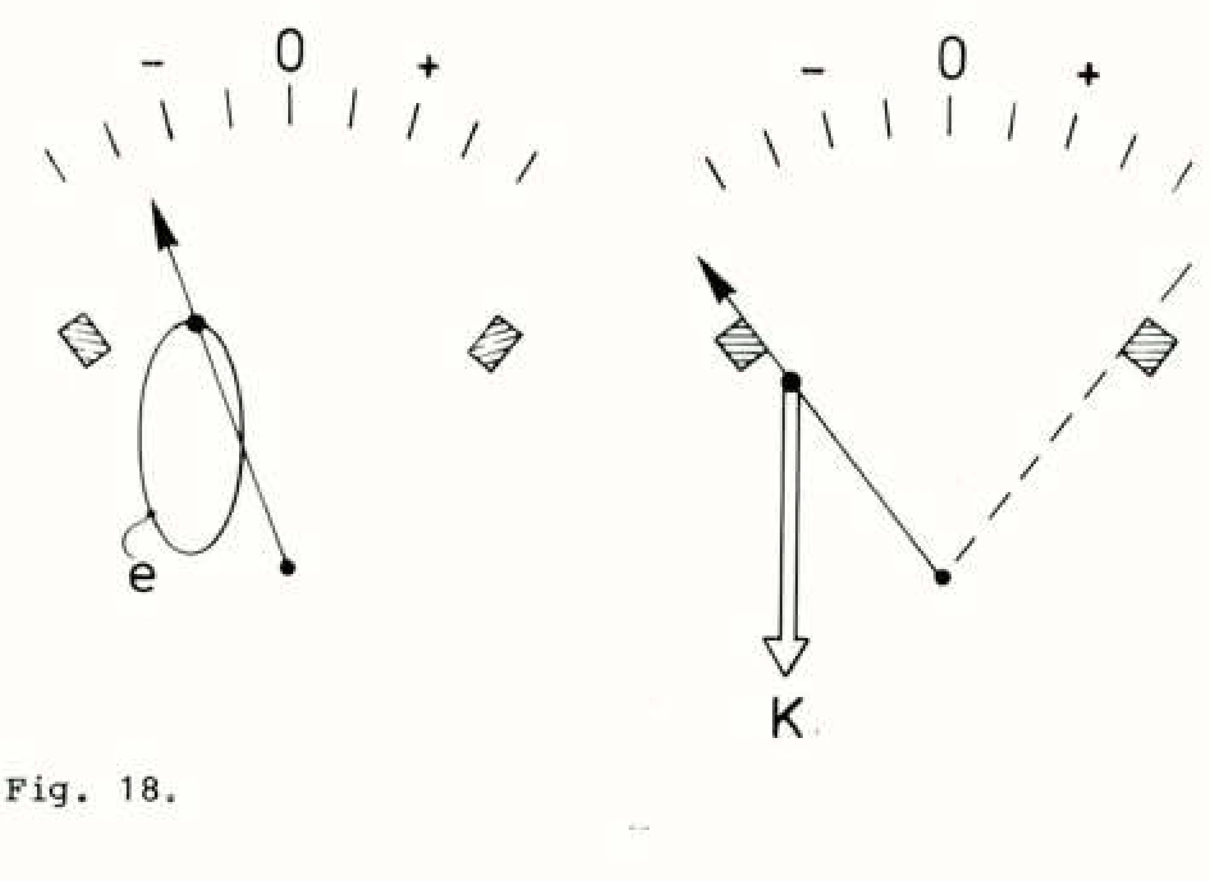


Fig. 18.

is geschetst in fig. 19 [11]. Deze is symmetrisch uitgevoerd, doch de rooster van de ene buis is via een weerstand R_0 verbonden met de spanning ε en de andere met aardpotentiaal. Vóór het tijdstip t_0 zijn beide buizen uitgeschakeld doordat de spanning U sterk negatief is. Bij een plotselinge verhoging van deze spanning op het tijdstip t_0 zal, tengevolge van de rondgaande versterking, de buis waarvan de roosterspanning op dit moment het hoogst is, stroomvoerend worden en wordt de andere uitgeschakeld. Deze beslissing is onherroepelijk: hij kan

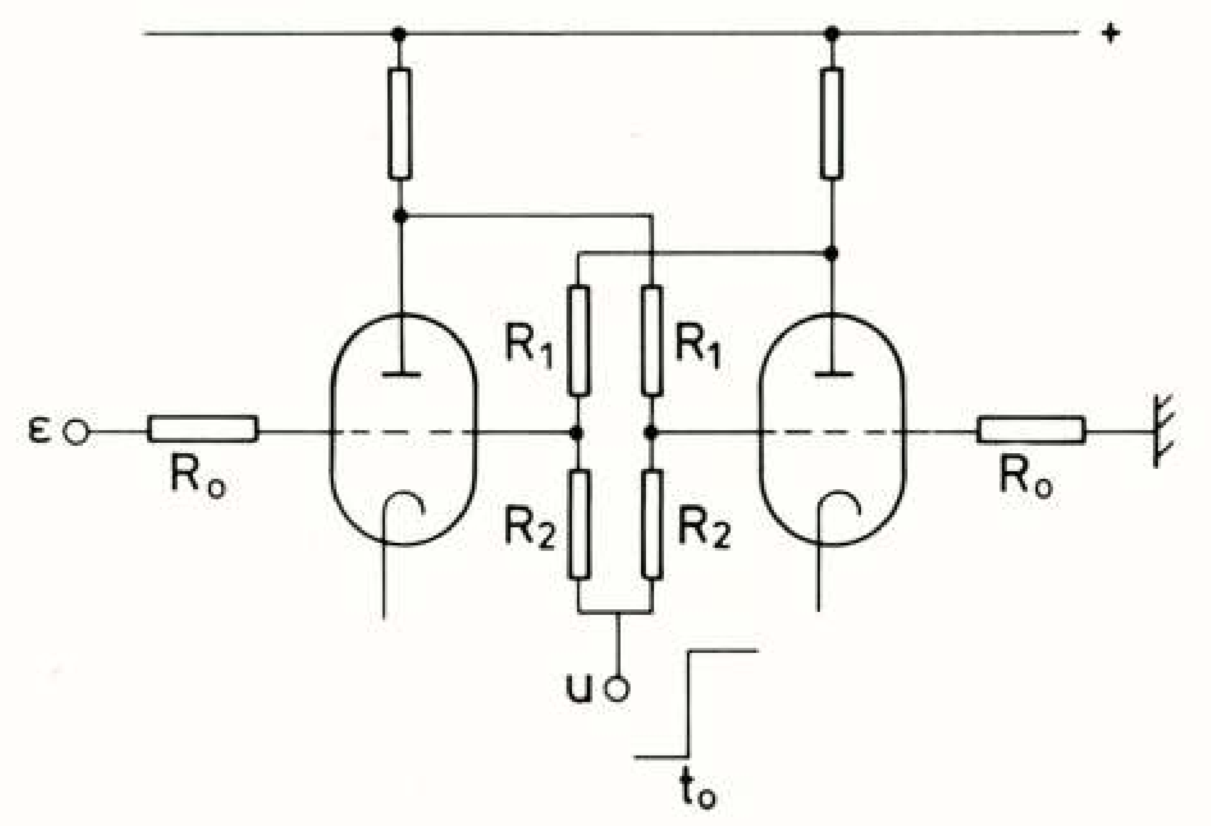


Fig. 19.

niet meer worden beïnvloed door spanningsveranderingen in ε ná het tijdstip t_0. Verder zullen bij een kleine waarde van ε beide buizen eerst tot een grote waarde stroom gaan voeren vóór het duidelijk wordt wie er zal winnen. Door de hoge hierbij aanwezige rondgaande versterking wordt de schakeling (zoals gewenst) juist in dit geval bijzonder gevoelig. Met behulp van een dergelijke "beslissingsschakeling" wordt de spanning ε dus gekwantiseerd in twee niveaus, overeenkomstig de polariteit van dit signaal.

De weergave van het signaal bij deltamodulatie kan worden verbeterd door niet van een trapjeskromme uit te gaan, doch van een signaal waarin de helling stapsgewijs verandert, zie fig. 20. Om daarbij de meest effectieve

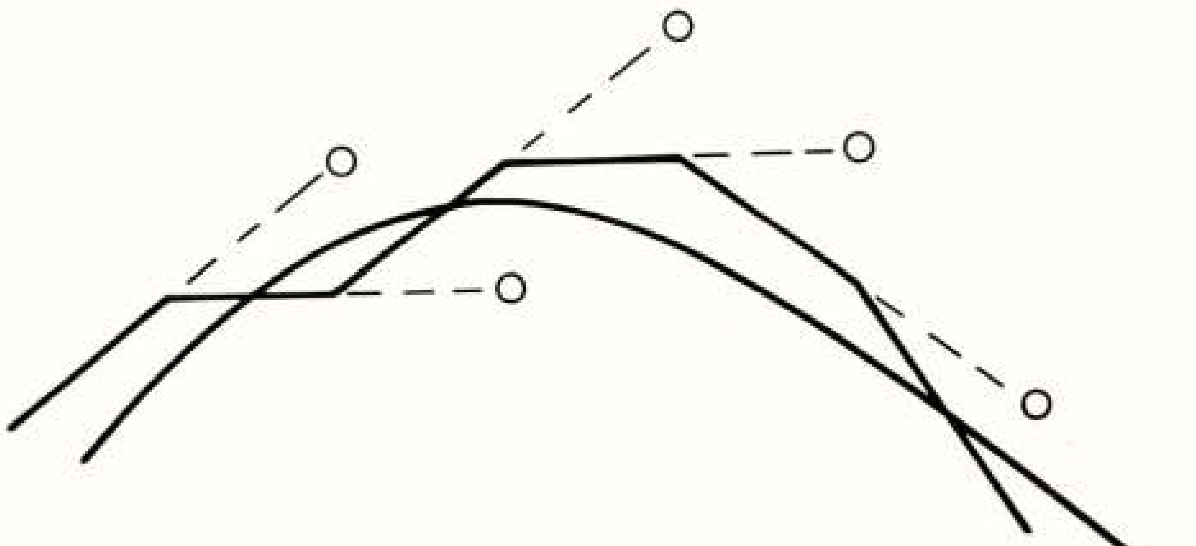


Fig. 20.

wijze van codering te bereiken moeten de beslissingen niet gebaseerd zijn op de momentele waarde van het benaderingssignaal, doch op de waarde die het korte tijd later zal bereiken, zoals ook een automobilist een bochtige weg beter zal kunnen volgen door vooruit te kijken dan naast zich te zien of hij rechts of links van het midden van de weg is. (Daarbij moet de afstand waarover men vooruit kijkt ook weer niet te groot gekozen worden, want dan bestaat het gevaar dat de bochten worden afgerond.) De hier naar voren komende "predictie" van het benaderingssignaal is gemakkelijk te realiseren door aan het integrerende netwerk I in de terugkoppelweg in fig. 16

nog een condensator en een weerstand toe te voegen. Bij een dergelijk "dubbel integrerend" netwerk worden de afwijkingen in het benaderingssignaal omgekeerd evenredig met de 5/2-de macht van de pulsfrequentie, terwijl dit bij enkele integratie, gebaseerd op een trapjeskromme, een 3/2-de macht was [12].

Het circuit uit fig. 16 toont een grote overeenkomst met bekende circuits uit de regeltechniek. Alleen zijn er twee essentiële verschillen: ten eerste is er een kwantisering in de tijd (alleen op bepaalde tijdstippen worden pulsen aan het terugkoppelnetwerk afgegeven), ten tweede is er een kwantisering in amplitude (alleen de waarden 1 en -1, ofwel 1 en 0, zijn toegelaten). Bij de eerstgenoemde kwantisering blijft het systeem nog lineair, bij de tweede echter niet. Is daarbij in de terugkoppelweg een netwerk aanwezig dat twee of meer reactieve elementen bevat, dan blijkt de mathematische analyse van een dergelijk niet-lineair systeem zeer gecompliceerd te worden.

Een andere verbetering op het oorspronkelijke systeem van deltamodulatie is aangegeven door Joop Greefkes. Zijn doelstelling was om een automatische adaptie te verkrijgen aan het niveau van het ingangssignaal, zoals dit bijvoorbeeld ook in het oog tot stand komt. Alleen wordt ten behoeve van telecommunicatiedoeleinden vereist dat deze adaptie op identieke wijze aan de zendzijde en de ontvangzijde kan worden gerealiseerd, zodat de sterkte van het overgedragen signaal in overeenstemming is met het oorspronkelijke signaal. Met andere woorden: de regeling van de stapjesgrootte, of de hellingsveranderingen, moeten in de ontvanger volledig reproduceerbaar zijn. Dit is te bereiken door deze karakteristieke grootheid aan zend- en ontvangzijde af te leiden uit de overgezonden binaire pulsreeks, zie fig. 21. Hierin is PPA

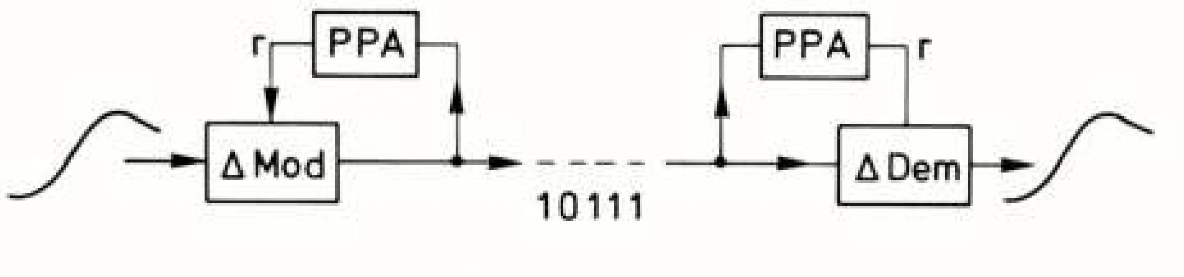


Fig. 21.

een "pulspatroon-analysator" die een indicatie geeft voor de mate van uitsturing waarin de zender zich bevindt. In zijn eenvoudigste vorm kan deze bestaan uit een teller die het gemiddelde aantal polariteitswisselingen in de uitgezonden pulsreeks telt. Immers bij een ingangssignaal waarvan de helling dicht bij de maximale waarde ligt (positief zowel als negatief) is het aantal polariteitswisselingen minimaal (vergelijk fig. 17) terwijl juist bij kleine signalen (en dus een in wezen te grote stapgrootte) het aantal polariteitswisselingen groot zal zijn. Men kan deze informatie gebruiken om door middel van de regelspanning r de stapgrootte aan de ingangssignalen aan te passen [13]. Nog effectiever is het om in de pulspatroon-analysator juist die patronen te selecteren die ook in een kort tijdsbestek karakteristiek zijn voor een te kleine of een te grote waarde van de stapgrootte [14,15]. Zo worden bij afwezigheid van een ingangssignaal in een systeem met dubbele integratie de periodieke pulspatronen 10 of 1100 gegenereerd (de "limit-cycles" van het systeem). Deze geven inderdaad aan de uitgang van het laagdoorlatend filter in de ontvanger de waarde nul (c.q. een constante), maar hun aanwezigheid in de pulsreeks kan gebruikt worden voor een verkleining van de stapgrootte.

Pulscodemodulatie

Bij pulscodemodulatie (PCM) worden de signalen in de vorm van getallen overgezonden, met een codering van de kwantiseringsniveaus in het tweetallig stelsel. De waarde 13 kan bijvoorbeeld worden weergegeven door het binaire getal 10110, met de betekenis:

$$13 = 16 - 8 + 4 + 2 - 1$$

De betreffende codegroep kan worden gevonden door stapsgewijs een benaderingssignaal op te bouwen waarin de veranderingen steeds de helft kleiner worden (fig. 22). Met

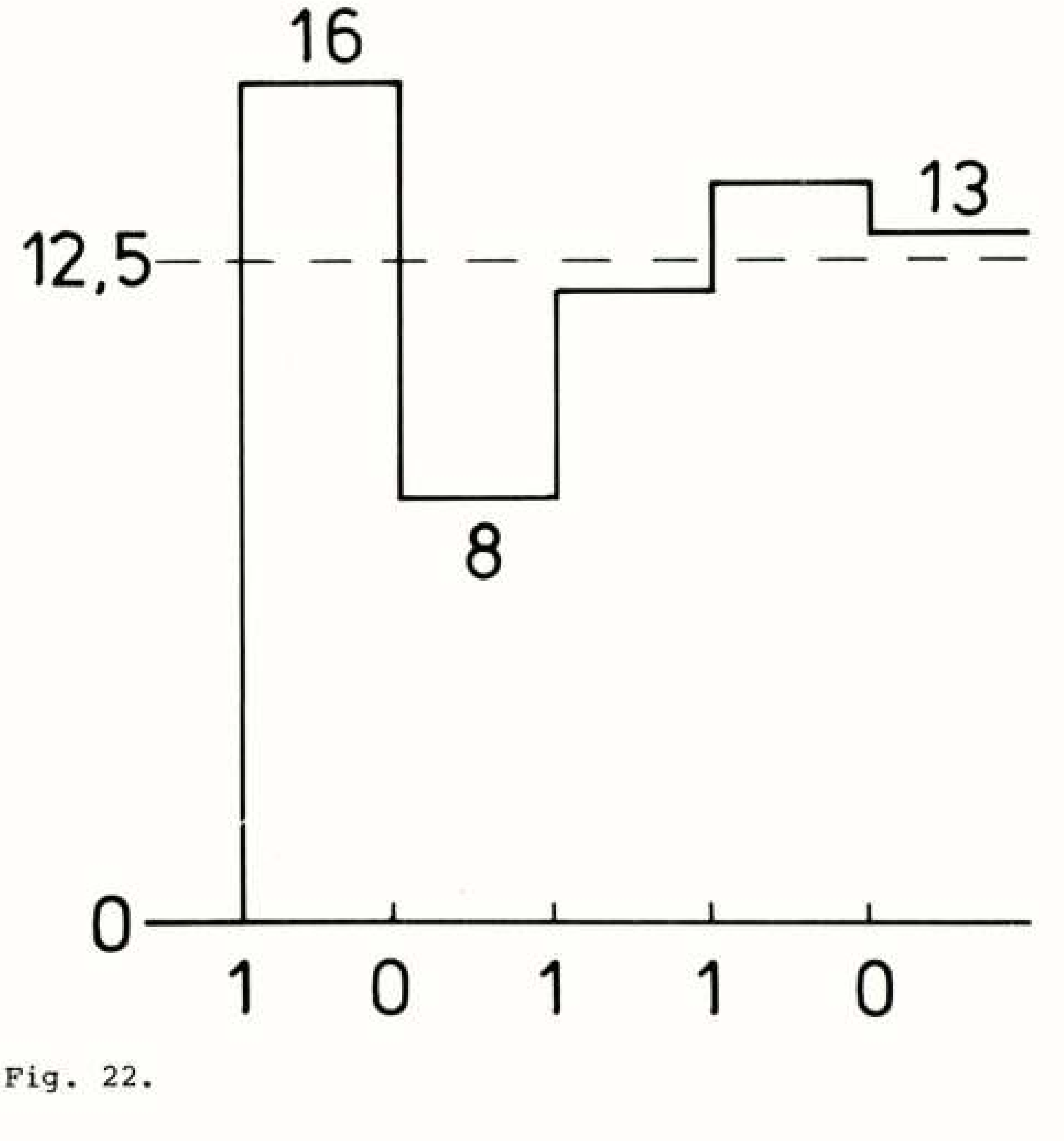


Fig. 22.

behulp van een beslissingscircuit, bijvoorbeeld als aangeven in fig. 19, hoeft men dan op opeenvolgende tijdstippen slechts de polariteit van het verschilsignaal na te gaan en dienovereenkomstig de veranderingen in positieve of negatieve zin te introduceren. Wordt dezelfde amplitude aan de ontvangzijde gereconstrueerd, dan kan met behulp van een "sample-and-hold" circuit, als aangegeven in fig. 13, weer een rechthoekig signaal worden opgewekt dat representatief is voor de over te brengen informatie. (Terwille van een efficiënte codering over een

groot amplitude-bereik worden de verschillende kwantiseringsniveaus vaak langs een niet-lineaire schaal gelegd, doch dit verandert niets aan het principe.)

Evenals bij deltamodulatie kan men hier in een eindig tijdsinterval slechts een eindig aantal verschillende signalen overbrengen. Vergeleken met de continue verzameling mogelijke signalen houdt dit in dat er - statistisch gezien - altijd afwijkingen zullen moeten bestaan: de zogenaamde "kwantiseringsruis". Bij deltamodulatie, waar alle pulsen hetzelfde effect hebben, bleek de verhouding signaal/kwantiseringsruis evenredig te zijn met de 5/2-de macht van de pulsfrequentie. Bij PCM, werkend met codegroepen, wordt door elke nieuwe bit die aan een codegroep wordt toegevoegd de kwantiseringsruis met de helft gereduceerd, wat betekent dat de signaal/ruis-verhouding een exponentiële functie is van de pulsfrequentie. De vraag wat beter is, hangt af van de toepassing. Deltamodulatie heeft van nature het voordeel dat het min of meer is aangepast aan het spectrum van spraak: de lage frequenties zijn daarin het sterkst vertegenwoordigd en kunnen ook met grote nauwkeurigheid worden weergegeven. Daardoor kan reeds bij lage pulsfrequenties goed verstaanbare spraak worden overgezonden, wat vooral in militaire systemen van belang is. PCM heeft deze natuurlijke aanpassing aan de spraak niet. Maar door de exponentiële verbetering kan hier bij hogere pulsfrequenties een hogere kwaliteit bereikt worden. Dit is vooral van belang in het openbare telefoonnet, waar de kwaliteit primair is en de in de transmissieweg in gebruik genomen bandbreedte minder zwaar weegt. Het omslagpunt ligt bij een pulsfrequentie van omstreeks 50 kbit/s.

Het grote voordeel van digitale transmissie ligt in de mogelijkheid van regeneratie, waarmee men de voor analoge systemen kenmerkende superpositie van signaal en storingen kan doorbreken. De in de transmissieweg aanwezige ruis wordt daarbij omgewisseld in kwantiseringsruis, die echter zeer klein kan worden gemaakt door een codering in een groot aantal bits. Een sprekend voorbeeld hiervan is de weergave van muziek via de compact disc. Door een laserstraal te focusseren op het spoor van het binaire pulspatroon wordt het stof op de plaat hierop geprojecteerd als een continu waas (fig. 23) dat weliswaar

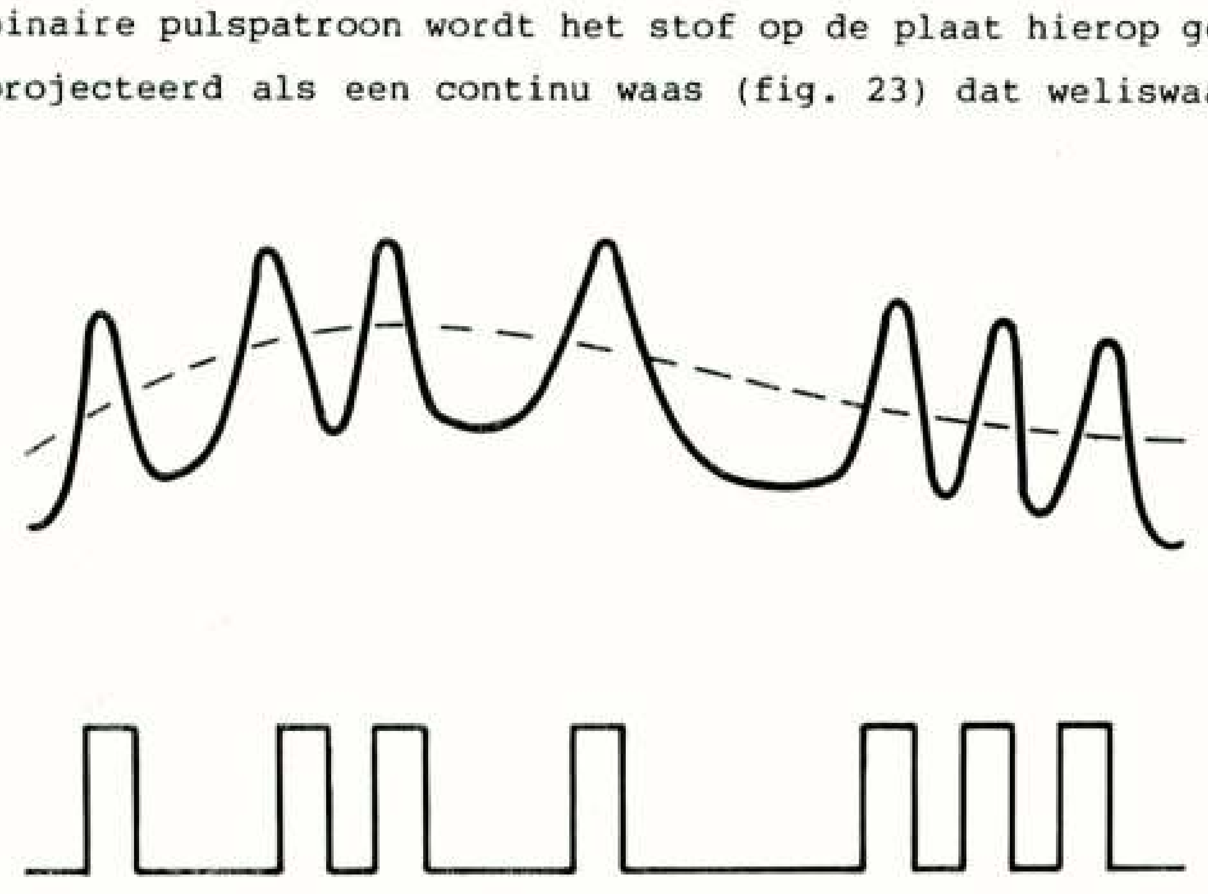


Fig. 23.

de vorm van de gedetecteerde pulsen enigszins beïnvloedt, doch waarbij de herkenbaarheid van het patroon niet verloren gaat. Door het oorspronkelijke pulspatroon te regenereren en met behulp daarvan het eenduidig gedefiniëerde benaderingssignaal weer op te bouwen, kan het oorsponkelijke muzieksignaal met grote nauwkeurigheid worden gereconstrueerd. Van dezelfde mogelijkheid tot regeneratie wordt in het telefonie- en dataverkeer gebruik gemaakt door de pulspatronen onderweg te herstellen vóór zij door de ruis onherkenbaar zijn geworden.

DIGITALE TELEFOONCENTRALES

Honderd jaar geleden kwamen de verbindingen in een telefooncentrale nog tot stand door de hand van de telefoniste. Dit werd vijftig jaar geleden, in automatische centrales, overgenomen door electromechanische relais. Het enige wat nu, in moderne digitale telefooncentrales, nog beweegt zijn elektronen. In de betreffende elektronische schakelaars wordt daarbij gebruik gemaakt van het tijdmultiplex-principe en dank zij het feit dat daarbij PCM wordt toegepast, hoeft men niet bang meer te zijn om te struikelen over de staarten van de pulsen uit naburige kanalen.

Alle hierbij benodigde filters, die vroeger uit spoelen en condensatoren werden opgebouwd, kunnen nu ook worden gedigitaliseerd. In deze digitale filtering (en, algemener: digitale signaalbewerking) heeft zich de laatste jaren een stormachtige ontwikkeling voorgedaan, met toepassingen in telefonie, muziekweergave en televisie. Voor een recent overzicht verwijzen we naar de volgende serie artikelen van diverse auteurs [16]. Kenmerkend voor deze ontwikkeling is dat men zich hierin reeds de vraag gesteld heeft: "Analoge signaalbewerking, wat was dat ook alweer?"

Ook hierbij komt weer een interessant aspect van niet-lineaire technieken te voorschijn. Bij de toepassing van digitale bewerkingen in een teruggekoppeld systeem is het van veel belang op welke manier de grootheden worden afgerond. In het algemeen stuit men hier namelijk weer op limit-cycles: bij afwezigheid van een ingangssignaal wordt toch een digitaal uitgangssignaal gegenereerd en daar dit een storend effect heeft, dient de amplitude hiervan zo klein mogelijk te worden gehouden [17,18].

Een moderne telefooncentrale kan men beschouwen als een grote gespecialiseerde computer, waarin de mogelijkheden van digitale transmissie ten volle worden uitgebuit. Toen de theoretische voordelen van digitale transmissie bekend werden - nauwelijks 40 jaar geleden - stond men er nog zeer sceptisch tegenover, want voor de behandeling van één bit informatie waren toen nog twee buizen nodig. Dank zij het feit dat men actieve elementen heeft kunnen ontwikkelen die uit veel minder moleculen zijn opgebouwd (zoals tenslotte ook in ons zenuwstelsel het geval is), vormt de bewerking van grote hoeveelheden digi-

tale informatie tegenwoordig geen probleem meer. Het transport van deze informatie tussen de centrales onderling kan daarbij uitstekend worden opgevangen door optische transmissie via glasvezels. En met de hierin gebruikte codering (in die zin dat elke lichtflits een van te voren vastgestelde specifieke betekenis heeft) en de regeneratie (het herhaald overzenden van nieuwe lichtflitsen) zijn we teruggekeerd naar de techniek waarmee 31 eeuwen geleden, door het ontsteken van vuren op bergtoppen, het bericht van de val van Troje naar Athene werd overgeseind.

DATATRANSMISSIE

Datatransmissie en digitale modulatie zijn in wezen elkaars spiegelbeeld: gaat het er bij de gecodeerde systemen als PCM of deltamodulatie om een gegeven analoog informatiesignaal over te zenden met behulp van een binaire pulsreeks, bij datatransmissie moet een gegeven binaire pulsreeks worden overgezonden via een analoge transmissieweg (fig. 24). Dit gebeurt met behulp van een modula-

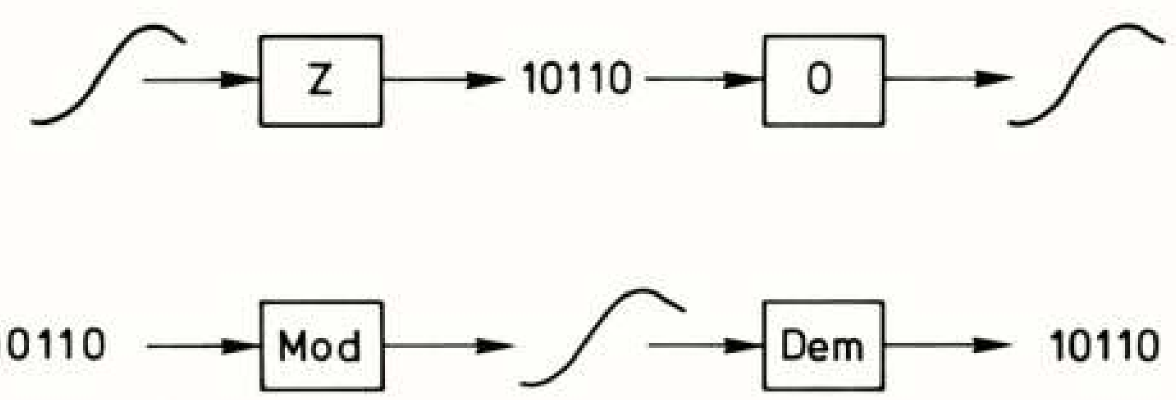


Fig. 24.

tor en een demodulator, gecombineerd in een "modem". Zou men de genoemde pulsreeks zonder tussenkomst van een modem aan het analoge transmissiemedium (meestal een telefonie-kanaal) toevoeren, dan zou het ontvangen signaal als regel volkomen onherkenbaar zijn. Niet alleen door de onderdrukking van lage frequenties (ten gevolge van de toepassing van transformatoren) maar ook door de in draaggolfsystemen optredende kleine frequentieafwijkingen, die voor de spraak van geen belang zijn, maar die wel de tijdfunctie van een signaal rigoreus veranderen.

Meestal wordt aan de zendzijde van de modem gebruik gemaakt van een hulpdraaggolf die, om redenen van frequentie-economie, niet in amplitude maar in fase gemoduleerd wordt. Het eindpunt van de draaggolf-vector bevindt zich daarbij, op aequidistante tijdstippen, in één van de vier in fig. 25 aangegeven punten. Door aan de ontvangzijde de polaritiet van de x- en y-componenten op deze tijdstippen te detecteren kan de binaire informatie (hier met 2 bits per bemonstering) worden teruggewonnen.

De hier geschetste ideale situatie wordt echter alleen aangetroffen wanneer er in de transmissieweg geen frequentieveranderingen optreden. Is dit wel het geval, dan betekent het dat de referentiepunten in fig. 25 met

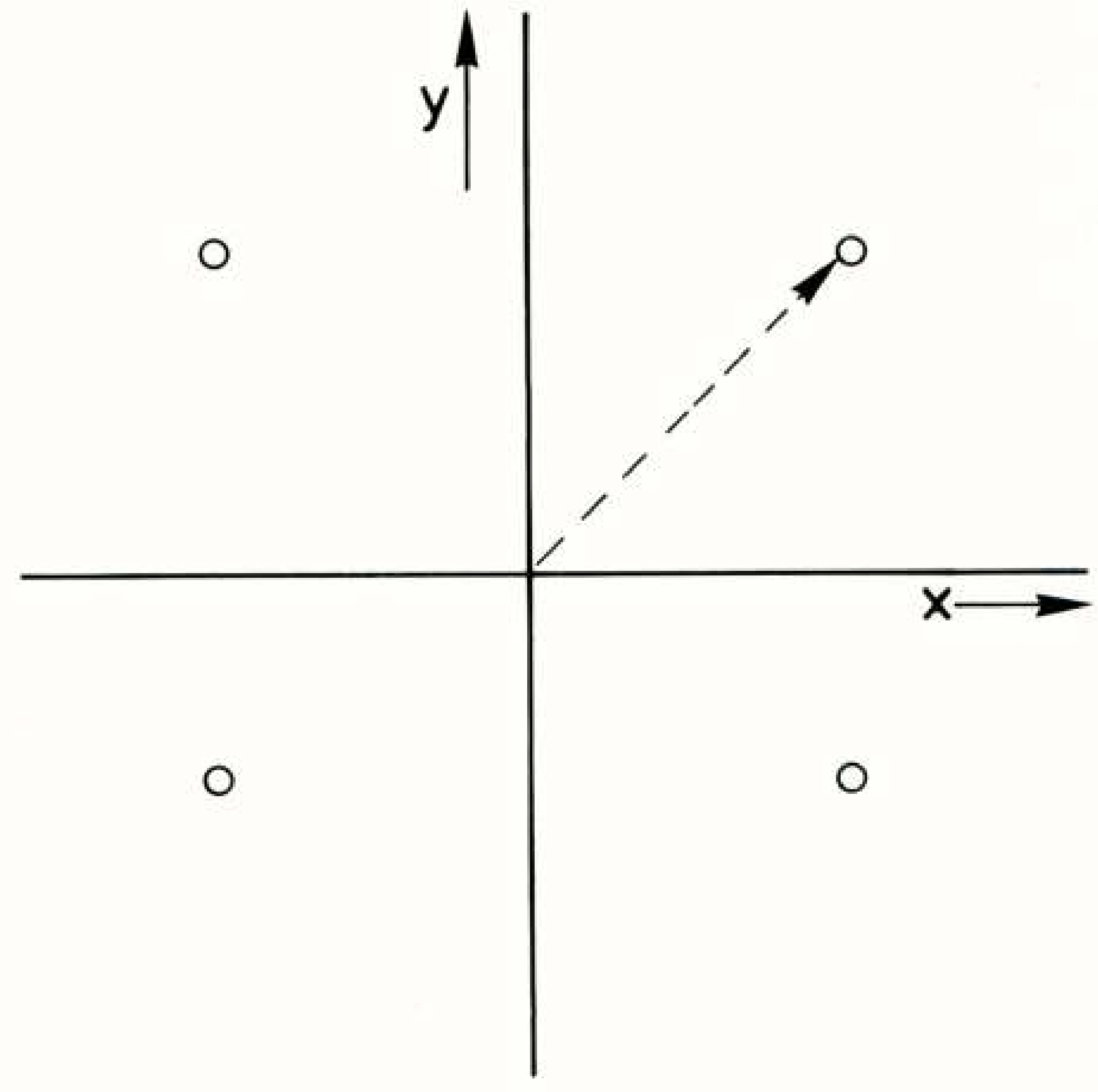


Fig. 25.

een constante snelheid ronddraaien en dit dreigt de detectie in de war te sturen. Een oplossing hiervoor kan weer met niet-lineaire technieken gevonden worden. De faseverschillen tussen de bovengenoemde referentiepunten zijn veelvouden van $\pi/2$. Voor de vierde harmonische van de hulpdraaggolf komt dit neer op veelvouden van 2π. Dat wil zeggen dat het ontvangen signaal bij toevoering aan een niet-lineair element een spectrum oplevert waarin de vierde harmonische van de hulpdraaggolf altijd dezelfde fase heeft. Door deze component met behulp van de vroeger besproken phase-locked-loop (fig. 8) fasegetrouw uit te filteren en vervolgens de frequentie door vier te delen vindt men de draaggolfcomponent terug, waarmee het referentieschema uit fig. 25 kan worden gerealiseerd. Alleen zijn er nu, tengevolge van deze frequentiedeling, ook vier verschillende mogelijkheden voor de fase, zodat x en y verwisseld of tegengesteld kunnen zijn. Hieraan is echter gemakkelijk tegemoet te komen door de informatie niet over te brengen met behulp van de fase zelf, doch door veranderingen in de fase. Een soortgelijke techniek kan ook worden gebruikt om aan de ontvangzijde het bijbehorende kloksignaal op te wekken. En met behulp daarvan kan de gewenste binaire pulsreeks dan aan de uitgang worden afgeleverd.

Het hierboven besproken demodulatieschema is gebaseerd op de statistische eigenschappen van een "toevallig" pulspatroon en het zou niet werken wanneer constant de waarde 1 (dus een gelijkspanning) zou moeten worden overgezonden. Trouwens ook het opwekken van een kloksignaal uit een gelijkspanning geeft moeilijkheden. Daarom moet er voor voldoende afwisseling gezorgd worden, ook in die informatie- patronen die uit zichzelf een nogal star karakter hebben. Het recept hiervoor heet "scrambling":

het door elkaar klutsen van de informatie. Uiteraard moet dit aan de ontvangzijde gevolgd worden door een "descrambling" die het oorspronkelijke informatie-patroon weer herstelt.

De techniek die hiervoor aan de zendzijde wordt gebruikt is geschetst in fig. 26. Elk vierkantje stelt een

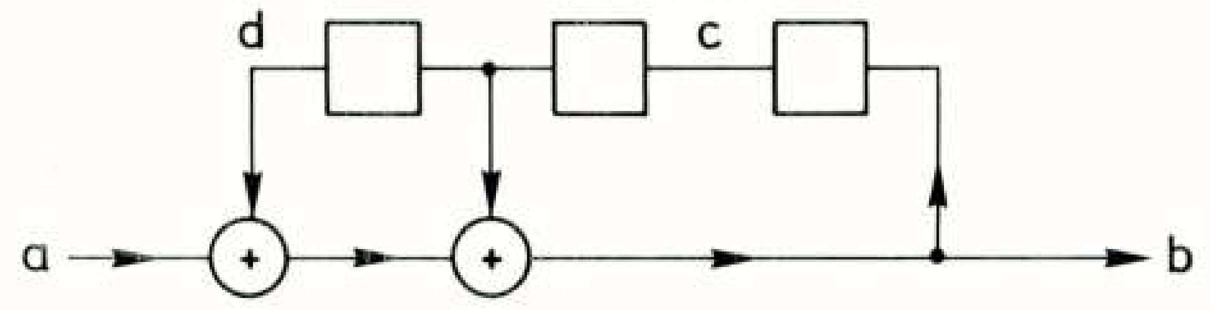


Fig. 26.

vertragingselement voor, overeenkomend met één bit uit het over te zenden binaire informatiepatroon, en elk cirkeltje een modulo-twee-poort. In deze "scrambler" resulteert het binaire pulspatroon a in een ander binair pulspatroon b, dat afhangt van de inhoud van de registers in de terugkoppelweg (dus van het verleden van b). In de aan de ontvangzijde geplaatste "descrambler" volgens fig. 27

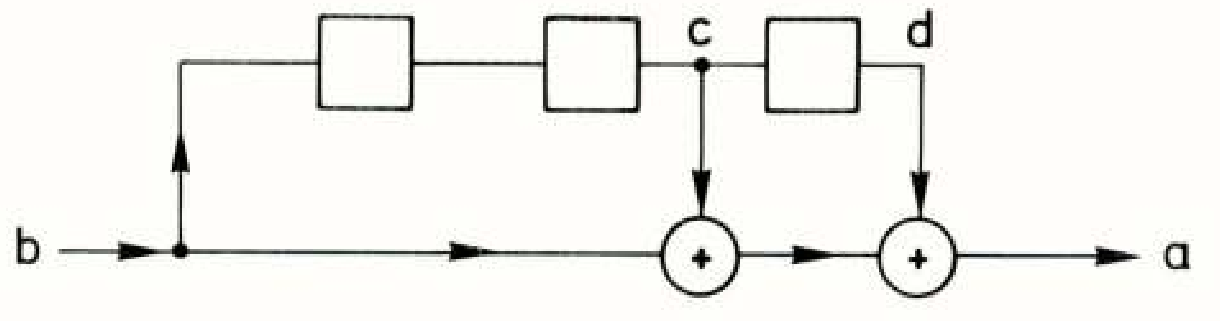


Fig. 27.

worden uit b de met de zendzijde overeenkomende signalen c en d opgewekt en (terugredenerend via de modulo-twee-poorten) vindt men dat het oorspronkelijke pulspatroon a weer aan de uitgang verschijnt. Door dus de terugregeling aan de zendzijde en de vooruitregeling aan de ontvangzijde toe te passen (andersom gaat het mis!) kan men een willekeurig pulspatroon omzetten in een ander pulspatroon, waaruit éénduidig het eerste kan worden teruggevonden. Worden nog wat meer vertragingen en vertakkingen geïntroduceerd, dan heeft dit in de overgezonden pulsreeks een dergelijke wanorde tot gevolg dat hieruit te allen tijde de benodigde klok en hulpdraaggolf kunnen worden opgewekt.

Door het aantal referentiepunten in fig. 25 tot meer fasen en amplituden uit te breiden is het mogelijk meer informatie in dezelfde bandbreedte over te zenden. Hoe ver men daarmee kan gaan, hangt uiteindelijk af van de signaal/ruis-verhouding in de transmissieweg. In het algemeen zal hierbij een nog hogere harmonische fasegetrouw moeten worden uitgefilterd uit het spectrum dat bij een niet-lineaire bewerking van het ontvangen signaal ontstaat.

Het overzenden van een andere pulsreeks dan de oorspronkelijke kan ook voor andere doeleinden zinvol zijn. Ten eerste voor geheimhouding. Zolang de structuur van de scrambler uit fig. 26 aan de ontvangzijde onbekend is zal er weinig met de ontvangen informatie zijn aan te vangen. In geavanceerde systemen voor geheimhouding wordt deze structuur ook tijdens de berichtgeving nog volgens bepaalde, zeer uiteenlopende, regels gewijzigd.

Ten tweede heeft het zin extra bits toe te voegen ten behoeve van foutendetectie en -correctie. De in deze systemen toegepaste schakelingen zijn gebaseerd op wetten uit de getallentheorie en daarbij in de eerste plaats op de ontbinding in priemgetallen. Ondanks de vrij gecompliceerde theorie zijn de practische circuits, werkend in het tweetallig stelsel, vaak relatief eenvoudig. De wens van telecommunicatie-ingenieurs om de over te zenden binaire informatie zodanig te verpakken dat eventuele storingen hierop geen (of een minimale) invloed hebben, heeft tot veel nieuwe onderzoekingen geleid [19].

En ten slotte bestaat er nog een belangrijke toepassing van het schema uit fig. 26 waarbij het ingangssignaal a constant de waarde 1 of 0 heeft. Onder bepaalde voorwaarden voor de structuur van dit digitale netwerk wordt dan een periodieke pulsreeks b verkregen, waarvan de lengte overeenkomt met een getal van de grootte 2^n-1, als n het aantal vertragingssecties is. Het bijzondere in een dergelijke "pseudo-random" reeks is, dat hij een autocorrelatiefunctie heeft met een zeer steil verloop. Of, met andere woorden, wanneer hij wordt opgewekt in de terugkoppelketen van de fasesynchronisatie-schakeling uit fig. 8, dan kan met grote nauwkeurigheid de fase van een overeenkomstig pulspatroon in het ingangssignaal worden gedetecteerd. Van deze eigenschap wordt gebruik gemaakt in moderne navigatie-systemen, waarbij de van drie satellieten ontvangen signalen ons in staat stellen de coördinaten van een willekeurig punt op aarde met een nauwkeurigheid van 30 m te bepalen. En doordat deze "pseudo--random" reeksen nog bij zeer lage signaal/ruis-verhoudingen goed gedetecteerd kunnen worden, is het zo ook mogelijk opdrachten te geven aan ruimtevaartuigen die zich in ons zonnestelsel op afstanden van 10^{12} m bevinden.

ROBOTS

De meest geavanceerde niet-lineaire circuits treffen we aan in robots. De drie essentiële kenmerken van een robot zijn: waarnemen, beslissen en actie ondernemen. Hierin zijn de beslissingen onherroepelijk - en dus niet-lineair. Bij een nadere analyse van de werking van een robot kan men de volgende functies onderscheiden:

- Waarnemen. Door middel van "sensoren" worden één of meer fysische grootheden gemeten.
- Kwantiseren. Deze grootheden worden onderscheiden in een beperkt aantal niveaus.
- Coderen. Aan elk niveau wordt een getal toegekend.

- Rekenen. Volgens een bepaald rekenschema worden een aantal karakteristieke (meestal abstracte) grootheden berekend.
- Vergelijken. Deze grootheden worden vergeleken met overeenkomstige grootheden die in een geheugen zijn opgeslagen.
- Beslissen. Op grond van een bepaald criterium wordt aan de hand van deze vergelijking beslist of wel of niet tot actie zal worden overgegaan.
- Actie ondernemen. Als direct gevolg van deze beslissing worden die circuits ingeschakeld die nodig zijn om "iets te doen".
- Doorgaan. De volgende stap in het programma komt aan de orde. Daarbij kunnen ook, in samenhang met vroegere ervaringen, het rekenschema en de in het geheugen opgeslagen grootheden gewijzigd worden.

In het schema W-K-C-R-V-B-A-D is W typisch lineair (althans continu) en K typisch niet-lineair (noodgedwongen discontinu) terwijl de andere bewerkingen, uitgezonderd A, zich in het gebied van de gehele getallen afspelen. Als voorbeeld kunnen we wijzen op het sorteren van pakketpost op een lopende band, waarbij alleen de plaats van bestemming wordt afgeroepen. Na codering van het spraaksignaal worden de componenten van het Fourier-spectrum (over eindige tijdsintervallen) berekend en het verloop hiervan vergeleken met het karakteristieke verloop bij vroeger ingesproken plaatsnamen. Na de uiteindelijke beslissing is de sortering dan alleen nog maar een mechanische kwestie. (De eerste robot die de bevelen "stop" en "go-on" opvolgde, deed dit overigens door het aantal lettergrepen te tellen.)

Naast mechanische robots worden, vooral in de telecommunicatie, veel elektrische robots gebruikt. Bij voorbeeld voor het egaliseren van de looptijd-karakteristiek in een kanaal voor datatransmissie. Tengevolge van de wederzijdse beïnvloeding van de verschillende correctienetwerken is de instelling met de hand hier een moeizaam proces. Door gebruikmaking van speciale rekentechnieken kan dit automatisch veel sneller en bovendien tijdens het overzenden van de informatie gebeuren. Op deze wijze heeft men de vroeger benodigde insteltijd van circa een half uur tot enkele seconden terug kunnen brengen.

In sommige opzichten kunnen robots niet alleen sneller maar ook beter reageren dan de mens. Bijvoorbeeld in een automatisch remsysteem, waarin het blokkeren van remmen wordt voorkomen. Gezien de grote hoeveelheid informatie die thans in een kleine ruimte kan worden opgeslagen en de mogelijkheid om daarop zeer snelle bewerkingen toe te passen kan men in de toekomst nog veel zinvolle - en minder zinvolle - ontwikkelingen op het gebied van robots verwachten. Zo is reeds voorgesteld om ping-pong spelende robots te ontwerpen. Wanneer men hierin het geheugen nog laat beïnvloeden door de opgedane ervaringen dan zou een dergelijke robot gaandeweg zijn slag kunnen verbeteren en zijn techniek kunnen aanpassen aan het spel van zijn tegenstander. Waartoe al deze mogelijkheden nog zullen leiden, valt niet te voorzien. Maar tenslotte is het de charme van niet-lineaire verschijnselen dat de toekomst niet uit het verleden kan worden voorspeld.

Eindhoven, augustus 1985

REFERENTIES

[1] Balth. van der Pol, Over "relaxatie-trillingen", Tijdschrift Ned. Radiogenootsch. 3, 25-40, 1926.

[2] Balth. van der Pol, On "relaxation-oscillations", Phil. Mag. 2, 978-992, 1926.

[3] H. Hochstadt, Differential Equations, Dover Publ., New York, 1975.

[4] J. van Slooten, Stabiliteit en instabiliteit bij triode-oscillatoren, Philips Techn. T. 7, 171-178, 1942.

[5] D.K. Arrowsmith en C.M. Place, Ordinary Differential Equations, Chapman & Hall, London, 1982.

[6] H. Abraham en E. Bloch, Ann. de Physique, 12, p. 237, 1919.

[7] T.J. Rey, Automatic phase control: theory and design, Proc. IRE 48, 1760-1771, 1960.

[8] J. Noordanus, Frequency Synthesizers - A Survey of Techniques, IEEE Trans. Comm. Techn. Vol COM-17, nr. 2, 257-271, April 1969.

[9] J. Noordanus, Frequency synthesizers voor gebruik in toekomstige mobiele automatische telefonienetten op 1 GHz, Tijdschr. Ned. Electron. en Radiogen. 40, 69-74, 1975.

[10] J.F. Schouten, F. de Jager en J.A. Greefkes, Deltamodulatie, een nieuw modulatiesysteem voor telecommunicatie, Philips Techn. T. 13, 249-258, 1951.

[11] F. de Jager, Ned. Octrooi 91351, U.S. Patent 2647028.

[12] F. de Jager, Delta modulation, a method of PCM transmission using the 1-unit code, Philips Res. Repts. 7, 442-466, 1952.

[13] J.A. Greefkes en F. de Jager, Continuous delta modulation, Philips Res. Repts. 23, 233-246, 1968.

[14] J.A. Greefkes, A digitally controlled delta codec for speech transmission, IEEE Int. Conf. on Communications, San Fransisco 1970, 7, 33-48.

[15] J.A. Greefkes en K. Riemens, Codemodulatie met digitaal geregelde compansie voor transmissie van spraak, Philips Techn. T. 31, 349-368, 1970.

[16] Philips Technisch Tijdschrift 42, 1985:
nr. 4, (blz. 109-156), Themanummer 'Digitale signaalbewerking I, achtergronden', en
nr. 6/7, (blz. 189-252), Themanummer 'Digitale signaalbewerking II, toepassingen'.

[16a] J.B.H. Peek, Digitale signaalbewerking, een vakgebied van groeiende betekenis, [16], blz. 111-119.

[16b] A.W.M. van den Enden en N.A.M. Verhoeckx, Digitale

signaalbewerking: theoretische achtergronden, [16], blz. 120-156.

[16c] M.J.J.C. Annegarn, A.H.H.J. Nillesen en J.G. Raven, Digitale signaalbewerking in TV-ontvangers, [16], blz. 191-209.

[16d] E.H.J. Persoon en C.J.B. Vandenbulcke, Digitale audio: voorbeelden van toepassing van de geïntegreerde signaalprocessor ASP, [16], blz. 210-226.

[16e] J.H. Peters en J.T. Kanters, CAROT: een digitale methode om een robuust analoog kleurentelevisiesignaal te verkrijgen, [16], blz. 227-239.

[16f] J.J. van der Kam, Digitaal "decimerend" filter voor analoog/digitaal-omzetting van "hifi"-audio, [16], blz. 240-249.

[17] T.A.C.M. Claasen, W.F.G. Mecklenbräuker en J.B.H. Peek, Effects of Quantization and Overflow in Recursive Digital Filters, IEEE Trans. on Acoustics, Speech and Signal Processing, Vol ASSP-24, 517-529, Dec. 1976.

[18] T.A.C.M. Claasen, W.F.G. Mecklenbräuker en J.B.H. Peek, Een overzicht van niet-lineaire effecten in rekursieve digitale filters, Tijdschr. Ned. Elektron. en Radiogen. 42, 105-109, 1977.

[19] Shu Lin en Daniel J. Costello, Error control coding, Prentice Hall, New Jersey, 1983.

Varia

Prijsvraag, uitgeschreven door het Wetenschappelijk Radiofonds Veder.

Het Wetenschappelijk Radiofonds Veder stelt zich ten doel de bevordering van de ontwikkeling van wetenschap en techniek op het gebied van de radiotelegrafie, -telefonie en -televisie en van de wetenschappen en technieken die hieruit voorkomen in de ruimste zin. In overeenstemming met deze doelstelling heeft het Bestuur van het fonds besloten een prijsvraag uit te schrijven, waaraan Nederlandse onderzoekers en amateurs mee kunnen doen.
Aan de deelnemers wordt gevraagd te leveren:

- bijdragen tot de ontwikkeling van methoden ter verbetering van de informatieoverdracht door middel van electromagnetische signalen, die onderhevig zijn aan electromagnetische storing.

Aan de begrippen informatie, signaal en storing mag een zeer ruime betekenis worden toegekend. Informatie kan bijvoorbeeld worden aangeboden in de vorm van de menselijke stem, een visueel beeld, een patroon, gegevens uit de computer, etc. Signalen kunnen hieruit worden afgeleid door een of andere methode van codering, waarbij de gebruikte omzetters en interfaces mede een rol spelen. Storing kan bestaan uit ongewenste signalen van allerlei aard, met inbegrip van ruis. Aan de deelnemers wordt verder overgelaten welke definitie zij voor het begrip "verbetering" willen gebruiken.
De geleverde bijdragen mogen zowel van theoretische als van praktische aard zijn. Zij moeten in de Nederlandse taal zijn geschreven.
Omdat het Bestuur wil bevorderen , dat de prijsvraag zowel voor professionele beoefenaren van de communicatietechniek als voor amateurs aantrekkelijk is, is besloten inzendingen in de volgende twee categorieën in beschouwing te nemen:

(1) inzendingen van deelnemers voor wie de communicatietechniek deel uitmaakt van hun beroep,
(2) inzendingen van deelnemers voor wie de communicatietechniek buiten de sfeer van hun eigenlijk beroep valt.

De bijdragen worden vóór 1 JANUARI 1987 ingewacht in de vorm van een uitvoerig rapport, waaraan zo nodig bewijsstukken kunnen worden toegevoegd. Het rapport bevat de naam van de deelnemer niet, doch slechts een door hem gekozen motto. In een gesloten brief, die bij het rapport wordt toegevoegd en waarop het motto is vermeld, zijn naam en adres van de inzender gegeven.
De inzendingen dienen te worden geadresseerd aan de Secretaris van het Vederfonds, de C.de Hoog, p/a Pierson, Heldring & Pierson N.V., Postbus 999, 3000 AZ Rotterdam.

Het Bestuur stelt voor de beoordeling van de inzendingen een deskundige jury in, welke het bestuur over de kwaliteit van de inzendingen adviseert en zo mogelijk een rangorde opstelt.
Het Bestuur beslist over de prijstoekenning. Op deze beslissing is geen beroep mogelijk.
In elk van de beide genoemde categorieën wordt een prijs van hoogstens ƒ 5.000,- beschikbaar gesteld.

Fotobladen

1









5









9









13









17









	Van der Pol, Dr. B.	Jubileumnummer 1930
	De Voogt, Ir. A.H.	
	Koomans, Dr.ir. N.	
	Elias, Prof.dr. Jhr. G.J.	
5	Tellegen, Ir. B.D.H.	
	Appleton, Prof. E.V.	
	Roosenstein, Dr.ir. H.O.	
	Posthumus, Ir. K.	
9	Schotel, Ir. G.	
	Wesselius Oncken, H.	Hoofdred. 1920-'51

	Hylkema, Ir. H.T.	"	1952-'60
	Krul, Prof.ir. L.	"	1961-'65
13	Weyers, Ir. Th.J.	"	1966-'67
	Vredenbregt, Ir. K.	"	1968-'72
	Steffelaar, Ir. M.	"	1973-heden
	Bremmer, Prof.dr. H.		
17	Van Dijl, Prof.ir. B.		
	Bordewijk, Prof.dr.ir. J.L.		
	van Trier, Prof.dr.ir. A.A.Th.M.		
	Davidse, Prof.ir. J.		



Het bestuur in vergadering bijeen. (1985)

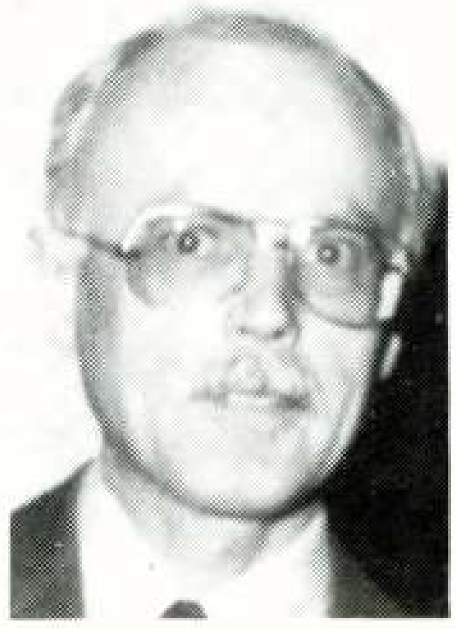
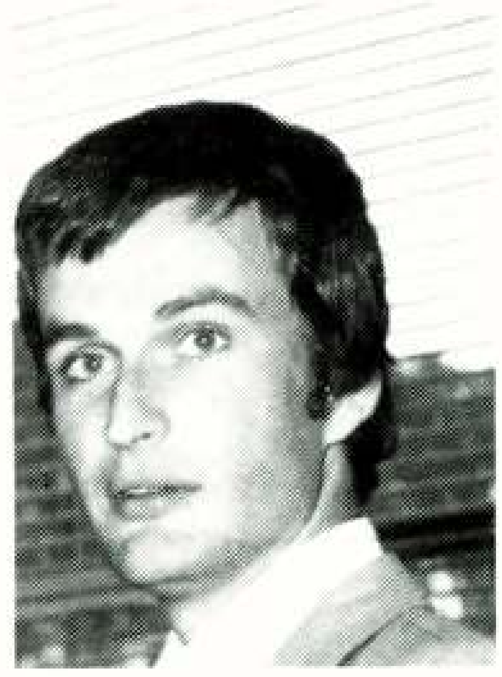


De penningmeester volgt nauwlettend de discussie aan de andere kant van de tafel. (1985)



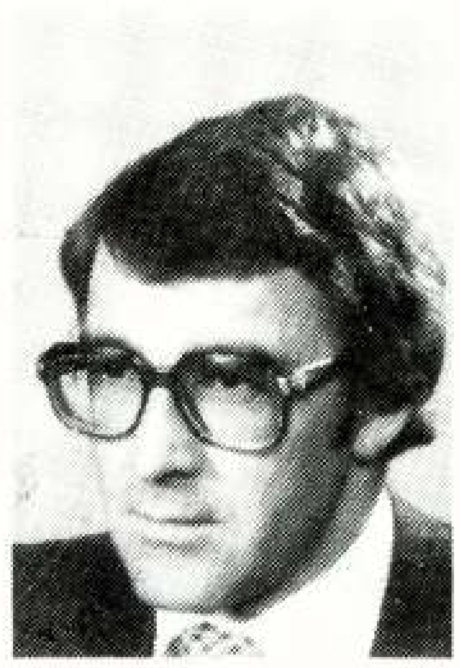




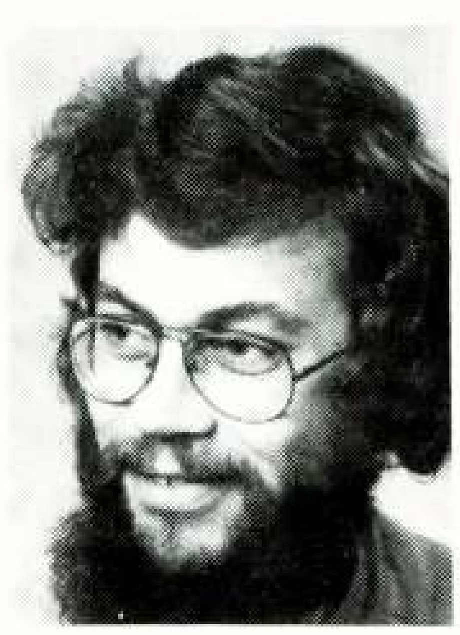












Von Weiler, Prof. Jhr., ir. J.L.W.C.
Poorter, Prof.ir. T.
Van Soest, Prof.dr.ir. J.L.
Muller, Prof.ir. C.A.

Goldbohm, Prof.ir. E.
Van Hoboken-Veder, Mevr. C.E.
Van Hoboken, W.
Dekker, Ir. C.B.

Jeuken, Dr. M.E.J.
Herstel, Dr.ir. W.

Da Silva Curiel, Ir. A.
Eggermont, Ir. L.D.J.

Maanders, Dr.ir. E.J.
Greefkens, J.A.
Rienirie, Ing. A.C.M. werkverg.306, deel 47, pag.176
Freeman, Prof. C. werkverg.289, deel 45, pag.168

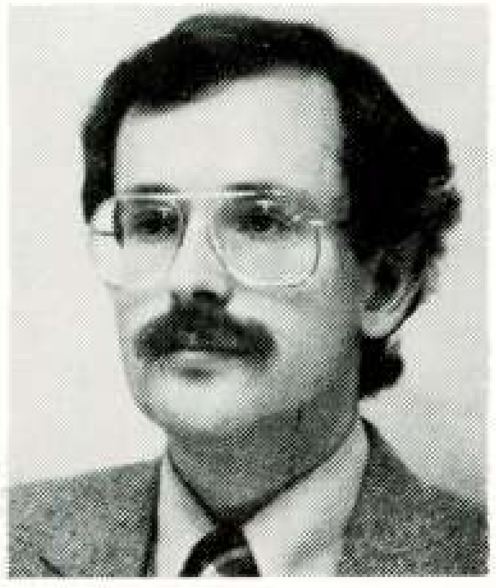
Voorman, Dr.ir. C. werkverg.298, deel 47, pag.14
Van der Kam, Ir. J.
Blom, Ir. J.A. werkverg.299, deel 47, pag.26
Wapenaar, Ir. W.P. werkverg.300, deel 47, pag.38

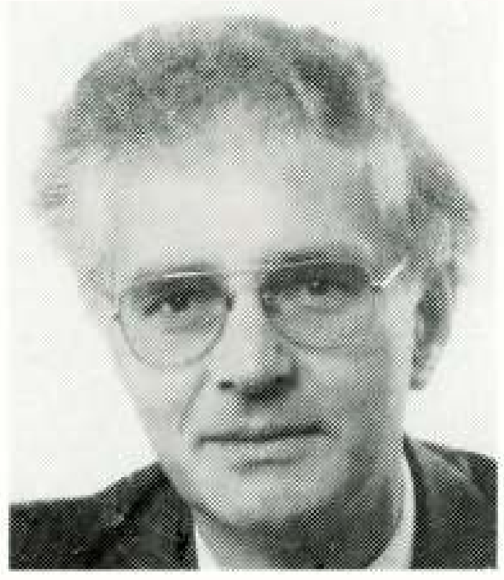


Het vorige bestuur bijeen. (1980)

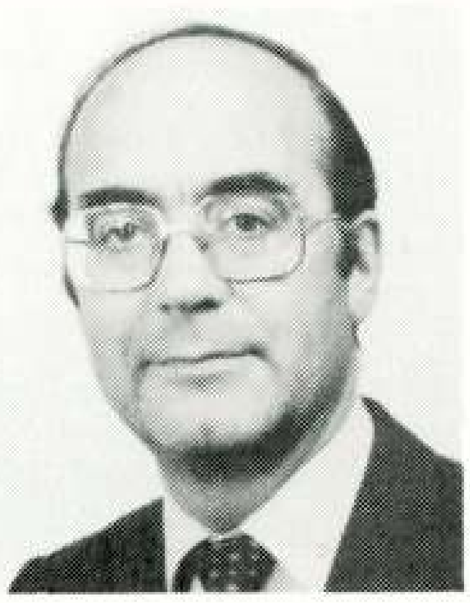
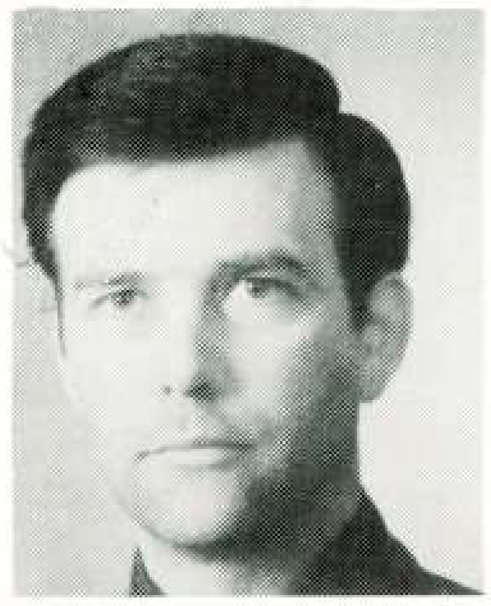
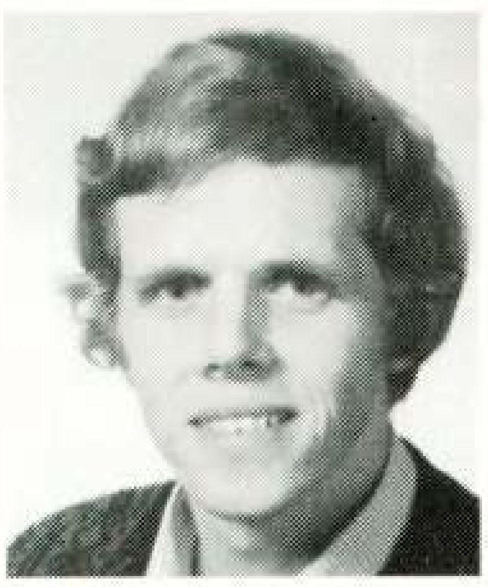
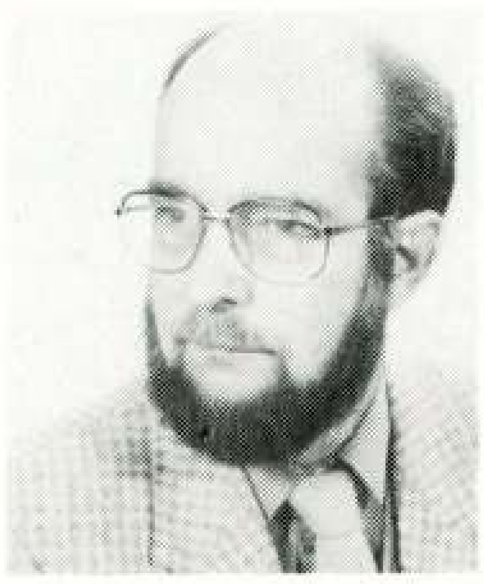


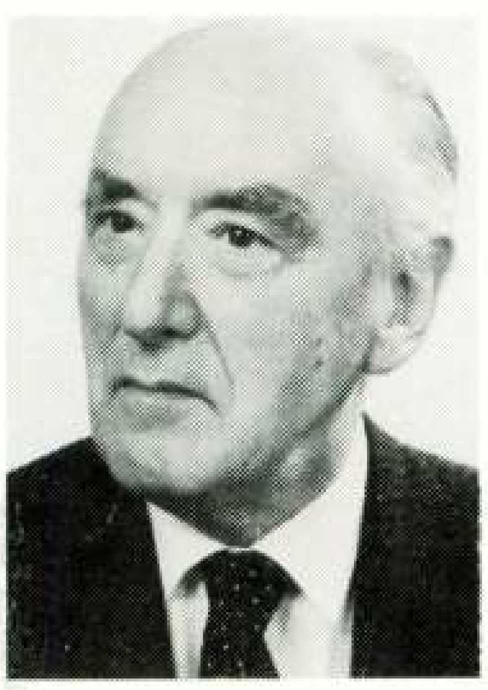
Voorbereiding van een artikel voor het jubileumnummer in 1980.

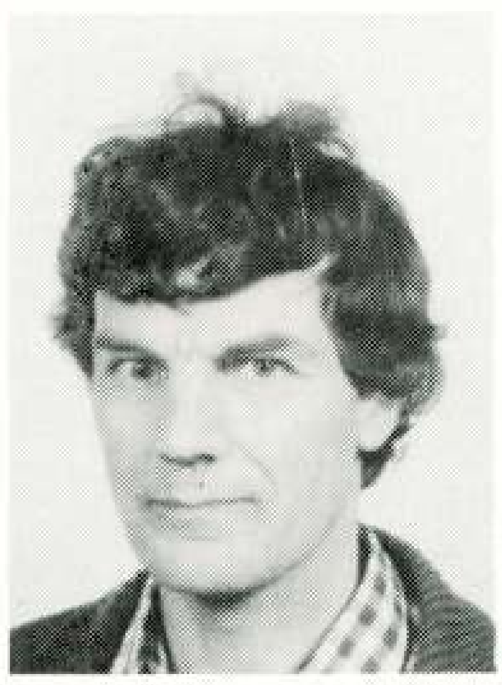













De Goede, Ir. B.L. werkverg.300, deel 47,p.38
Grotjohann, Ir. H.H.
Krijger, L.D.
Ligtenberg, Ir. B.C.

IJff, Ir. B.
Abbink, Ir. F.J. werkverg.301, deel 47,p.50
Veen, Drs. R.J.
Pouwels, Ir. H.

Van der Laan, Ir. J.M.
Joosten, Ir. L.J.M.

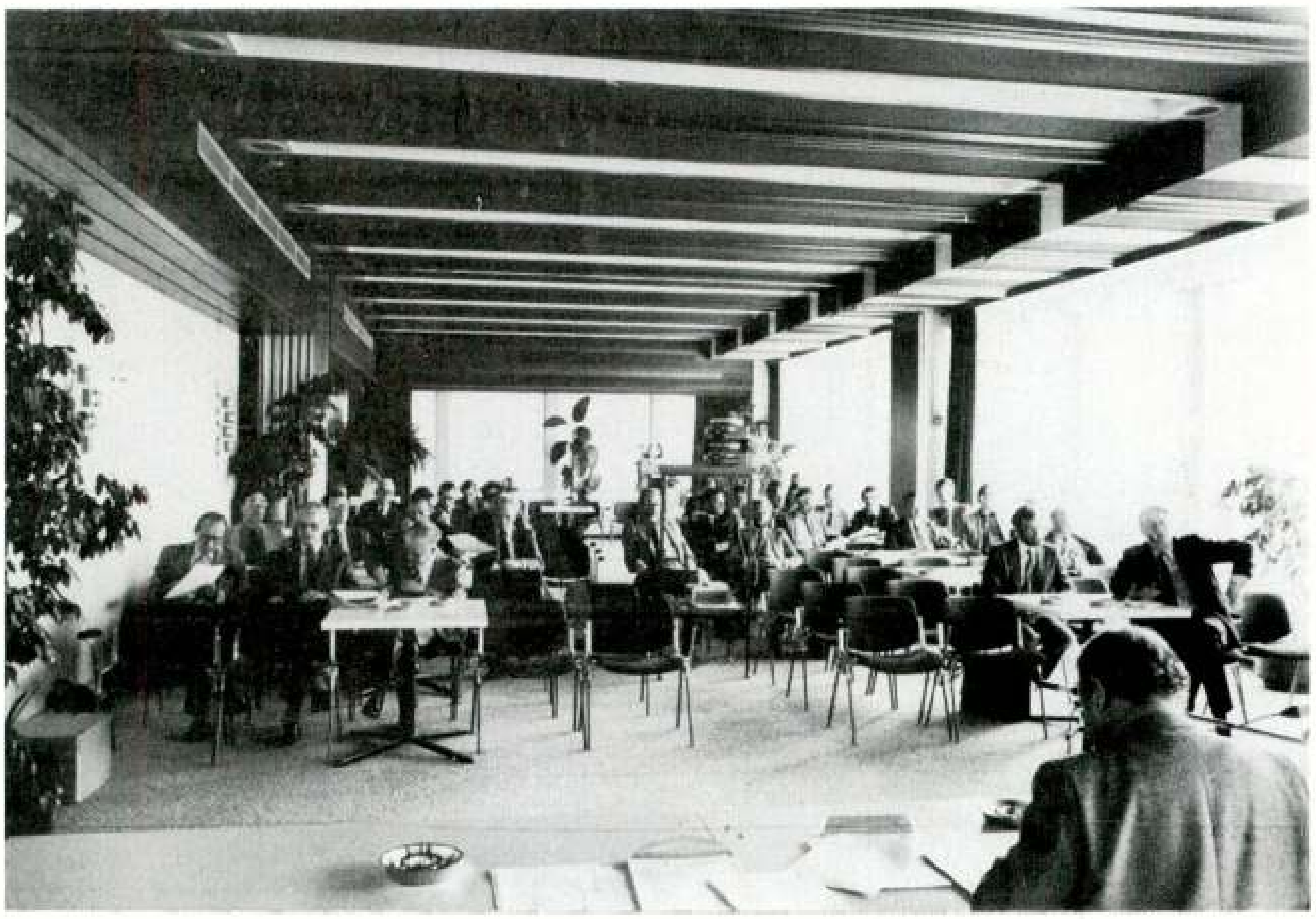
Roefs, Dr.ir. H.F.A.
Van Ingen Schenau, Ir. H.A.

Stumpers, Prof.dr. F.L.H.M. werkverg.302, deel 47,p.112
De Hoop, Prof.dr.ir. A.T.
Hamaker, Drs. J.P.
Schalkwijk, Prof.dr.ir.J.P.M. werkverg.303, deel 47,p.120

Heg, Ir. M.J.
Arnbak, Prof.dr. J.
Goethals, Prof.dr. J.M.
Ligthart, Ir. L. werkverg.305, deel 47,p.164



De jaarvergadering. Het Bestuur. (1980)

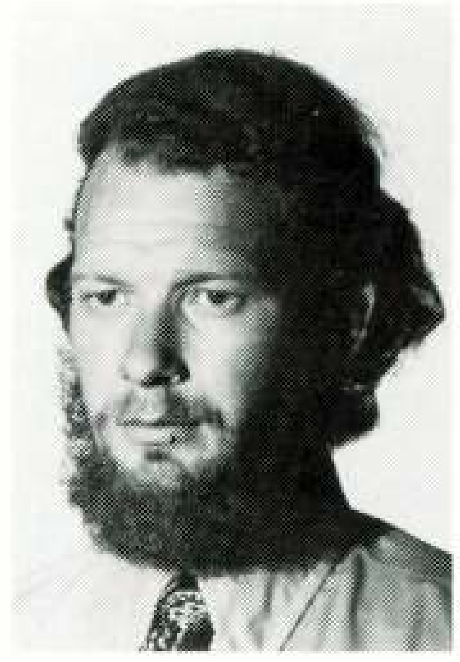


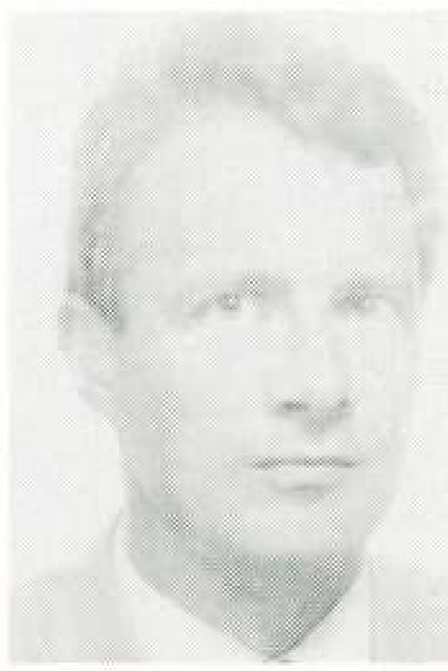
De jaarvergadering. De leden. (1980)

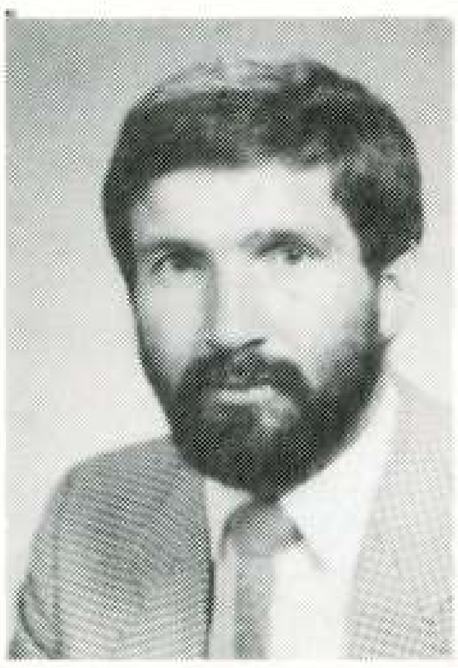


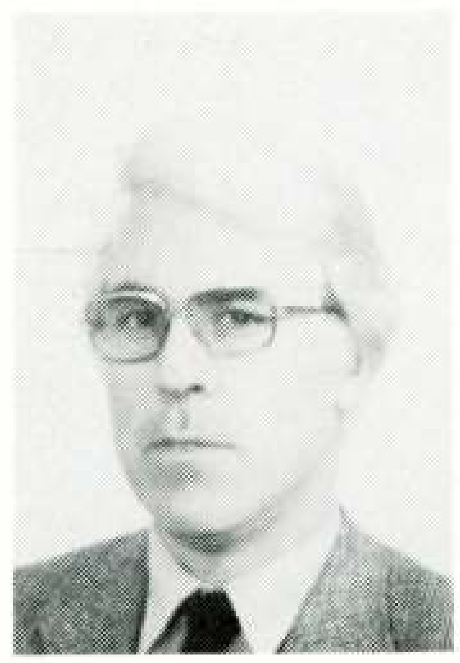
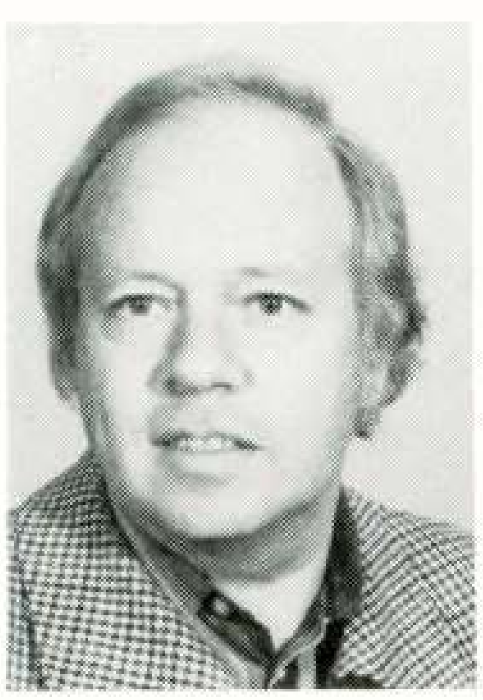






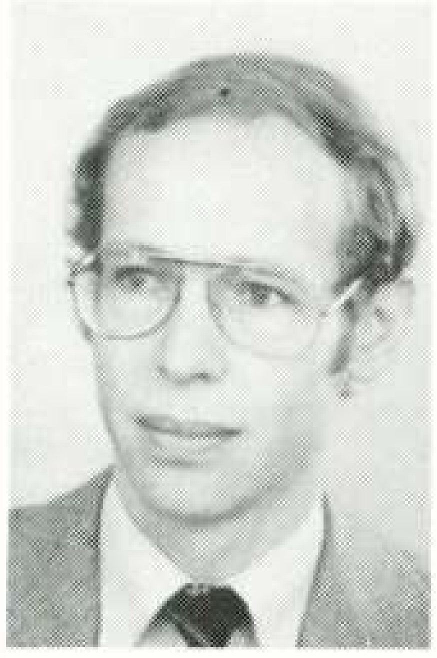

Van 't Klooster, Ir. C.	werkverg.305, deel 47,p.164	Evers, Ir. V.H.C.	
Middelhoek, Dr. J.	werkverg.306, deel 47,p.176	Van Duyn, H.J.	
Spaanenburg, Ir. L.			
De Vlaeminck, Ir. R.M.		Boot, Ir. J.	
		Van der Aa, J.G.M.	werkverg.309, deel 48,p.38
Krul, Prof.ir. L.	werkverg.307, deel 47,p.252	De Jong, Ing. A.	werkverg.310, deel 48,p.42
Kaarls, Ir. L.		Goedbloed, Dr. J.	
Wildeman, Ing. K.			
Kamperman, Ir. T.		Pieterse, Ir. O.	
		Sterken, Ing. W.	
De Jongh, Ir. T.P.	werkverg.308, deel 48,p.26	Strato, Ir. R.C.	werkverg.311, deel 48,p.80
Blank, Ir. J.		De Vries, Ir. J.P.	

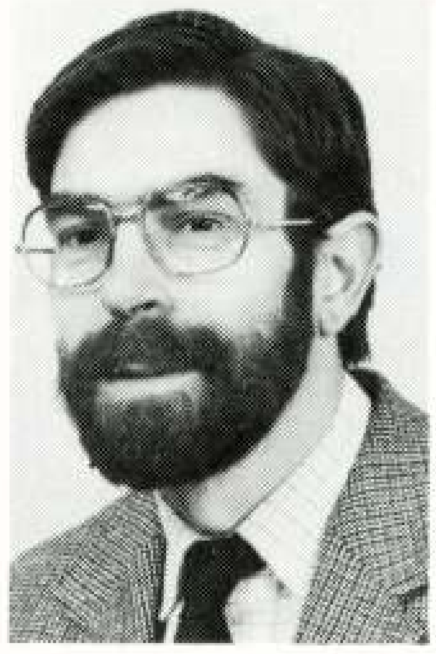


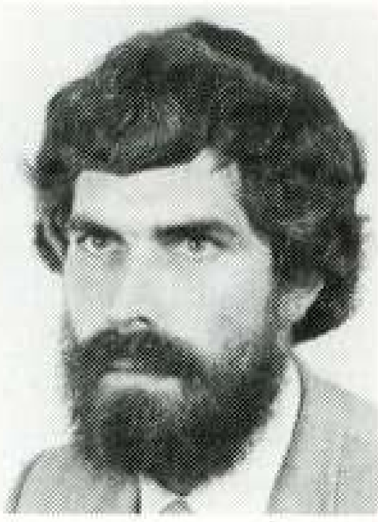
De werkvergadering. De spreker. (1980)

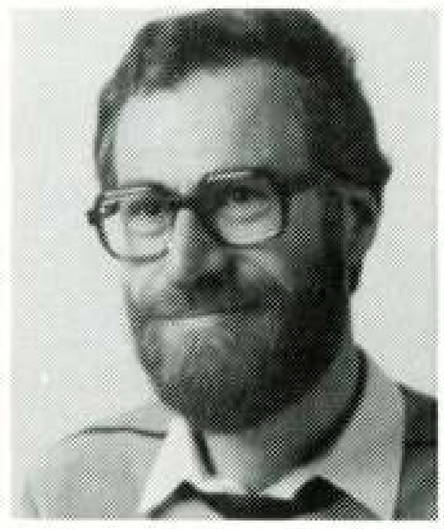
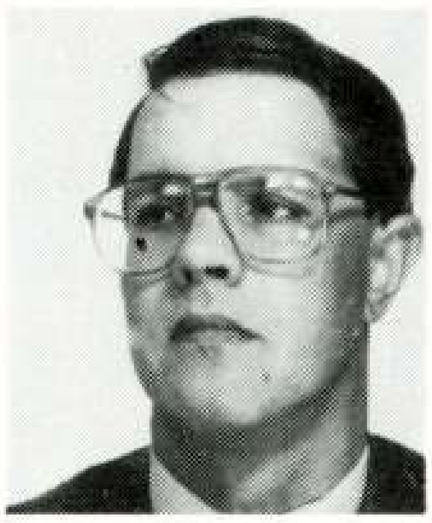


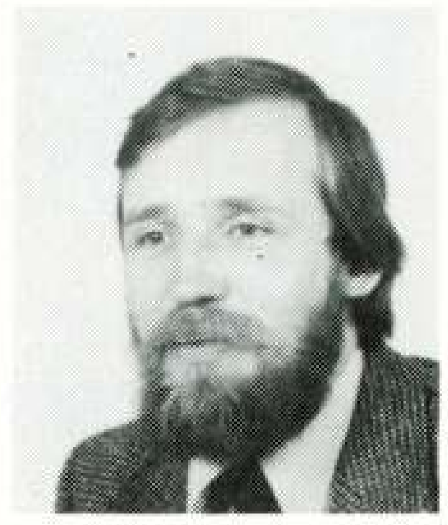
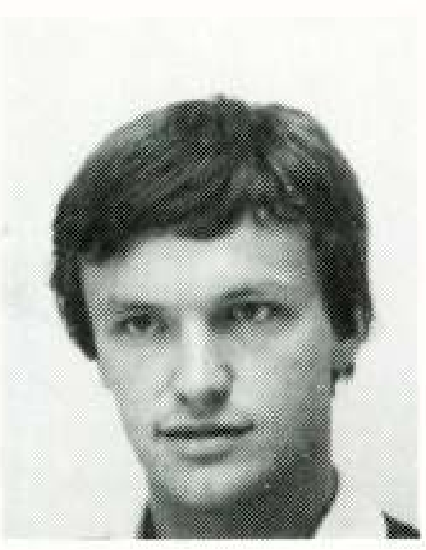
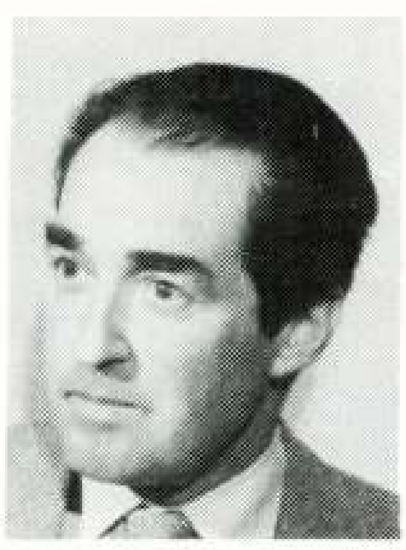
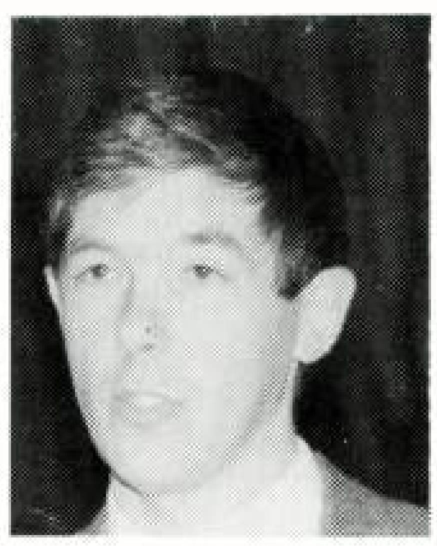
De werkvergadering. De luisteraar. (1980)

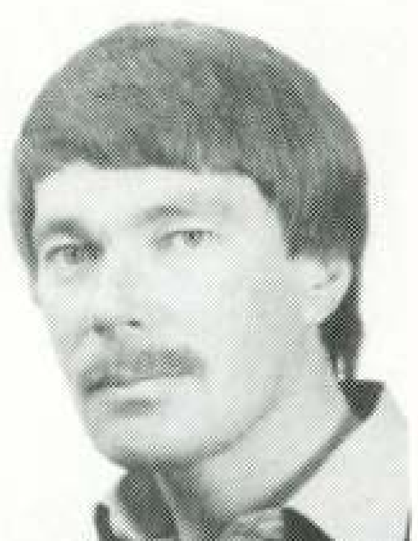









Kok, Ir. J. — werkverg.311, deel 48,p.80
Essers, Ing.P. — werkverg.313, deel 48,p.134
Boekee, Prof.dr.ir. D.E.
Dijkxhoorn, Drs.Ing. J.

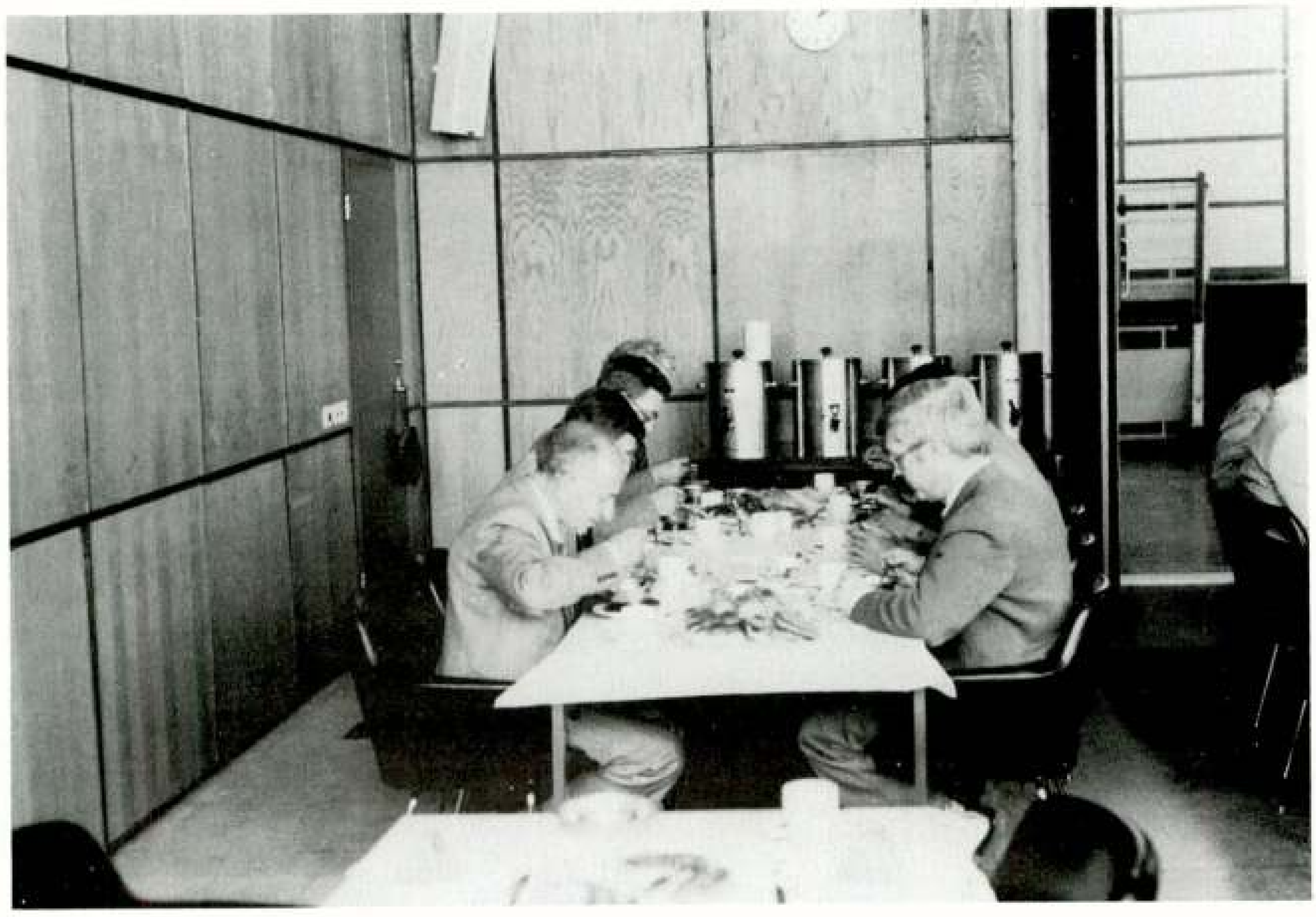
Mendrink, Ir. J.
Van der Heyden, Ir. J. — werkverg.315, deel 48,p.184
Ekkelenkamp, Ir. H.
Van Etten, Dr.ir. W.C.

Roetering, Ir. R.
Coenen, Ir. A.J.R.M.

Van der Knaap, C.M.
Van Diggele, Ir. J.

Stijl, Ir. M.
Van der Boorn, Ir. J.H. — werkverg.316, deel 49,p.14
Nordholt, Ir. E.H.
Smit, J.S. — werkverg.318, deel 49,p.146

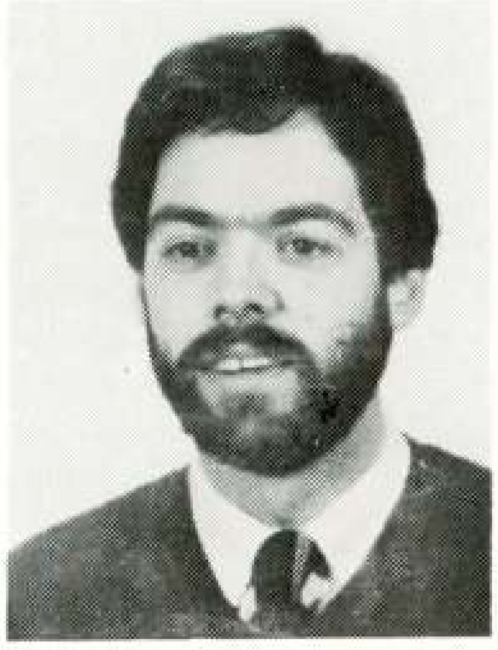
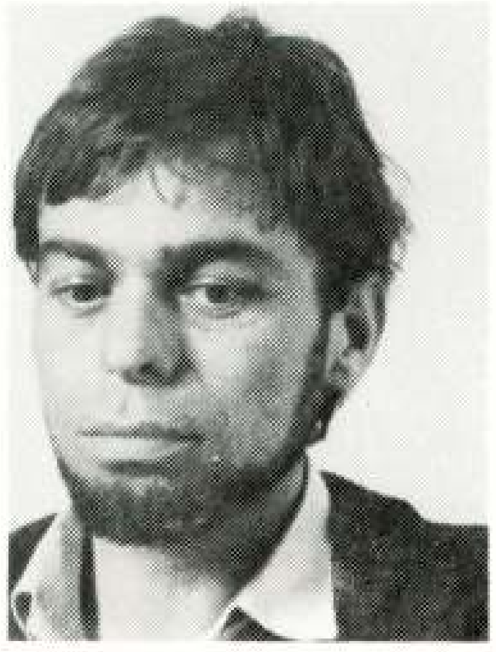
Hagenberg, Ir. T.H.M.
Aardoom, Ir. W.
Van Duuren, Ir. J.
Van Haaff, Ing. F.

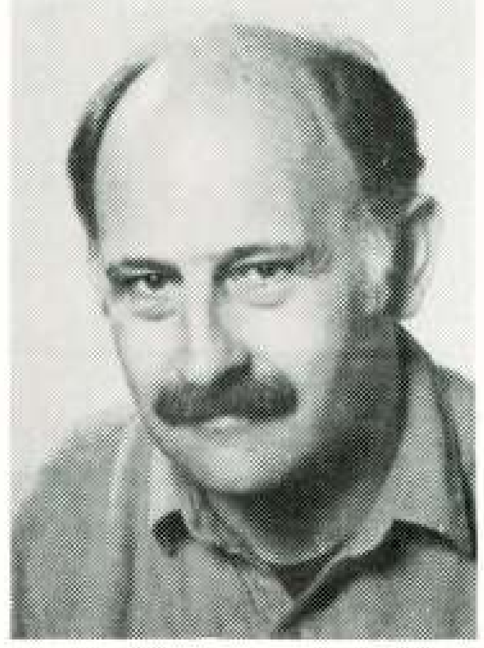


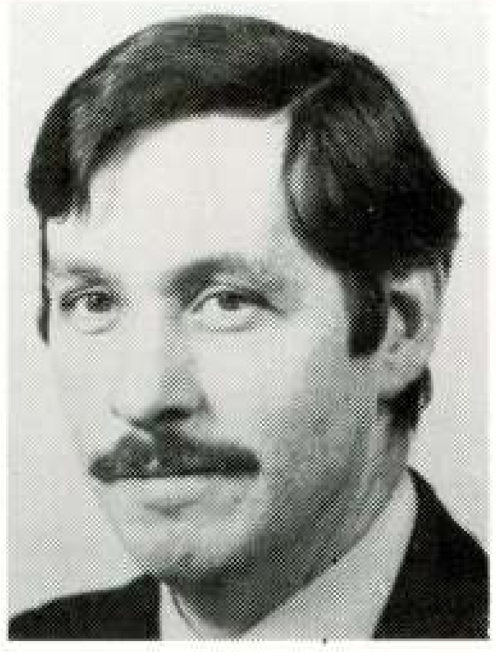
De koffiemaaltijd. Aan kleine tafels. (1980)



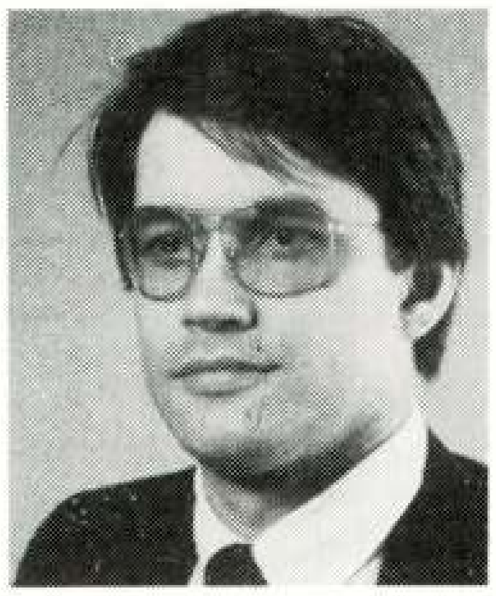
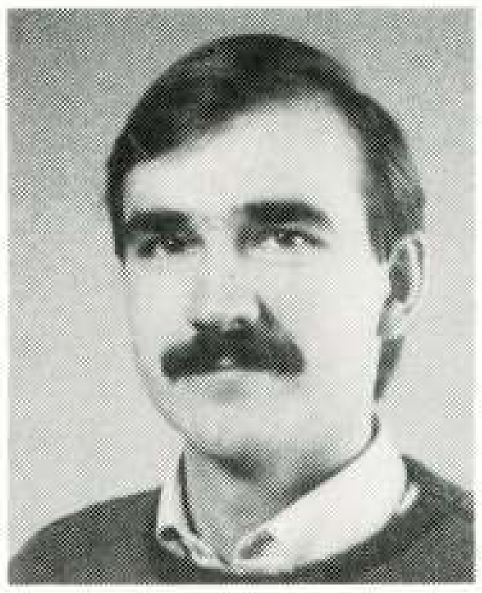
De koffiemaaltijd. Aan een lange tafel.

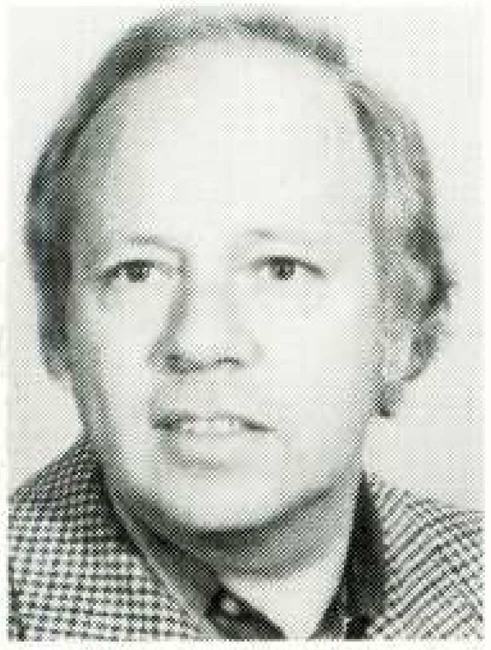


















Schäffers, Ir. J.F. werkverg.318, deel 49,p.32
Deprettere, Dr.ir. E.F.A.
Van Heugten, Ir. L.J.P.
Willems, Ir. L.F.

Bosscha, G.J.
Steeneken, H.J.M.
Van der Vlist, Ir. P. werkverg.320, deel 49,p.78
Van Daal, Ir. A.J.W.

Paconda, Ir. J.F.H.
Van Os, Ir. B.V.

Eberwijn, Ir. C.
Van Ballagooyen, Dr.ir. E.C.

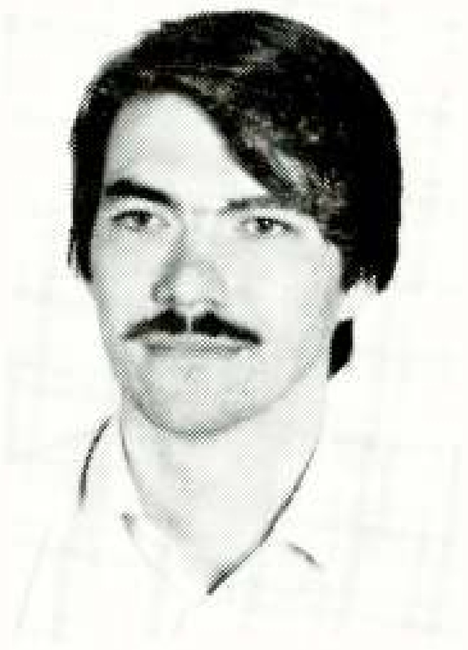
Pietersen, Ir. O.B.M.
Koomen, Dr.ir. C.J. werkverg.321, deel 49,p.196
Hammer, Dr. D.
Blaauw, Prof. G.A. werkverg.323, deel 50,p.46

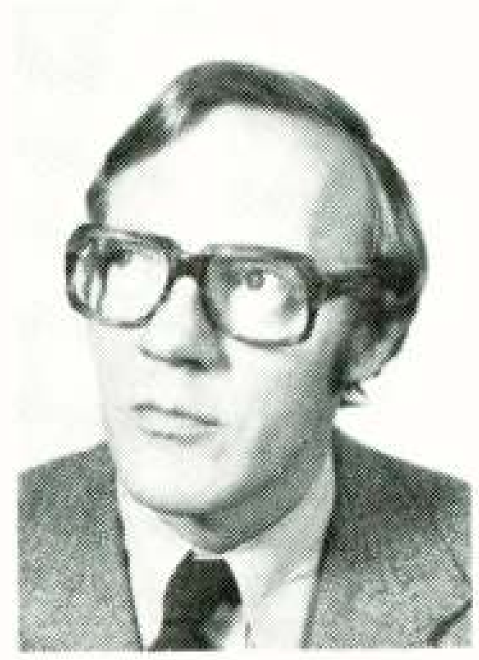
Veen, A.H.
Deprettere, Dr.ir. E.F.A.
Verhoeff, Prof.dr. J. werkverg.324, deel 50,p.50
Van der Roer, Dr.ir. Th.G. werkverg.325, deel 50,p.34

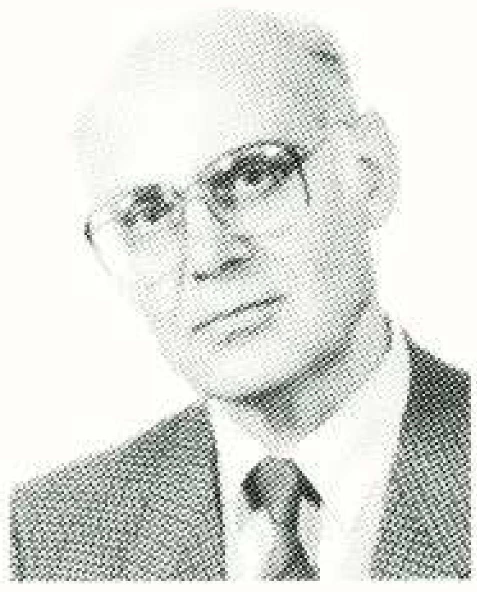


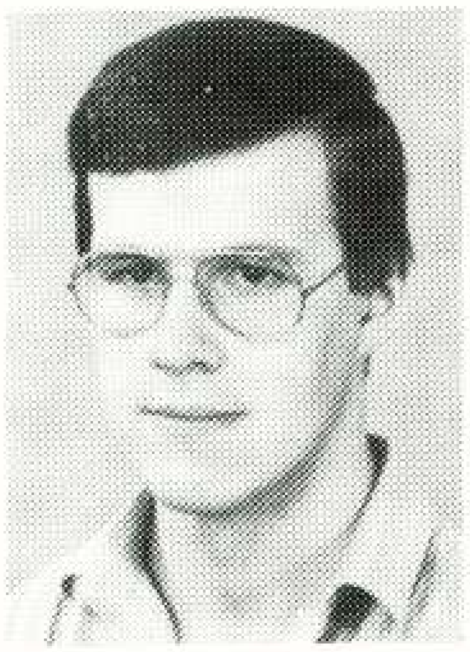
Excursie naar de HTS in Apeldoorn. (1979)


Prakticum opstelling op deze HTS.













Leong, Ir. S.	werkverg.325, deel 50,p.34
Corthout, Ir. M.E.A.	werkverg.326, deel 50,p.60
Kessener, Ing. R.	
Ero, Ir. J.W.	
Van Wijk, Ir. J.J.	
Schmidt, Ir. J.R.	werkverg.327, deel 50,p.128
Kegel, Ir. A.	
Van Kampen, Ir. H.	werkverg.328, deel 50,p.78
De Goede, Ing. H.	
Van 't Ooster, Ir. J.	

Diekema, Ir. A.	werkverg. 329,deel 50,p.84
Bregman, Ir. J.D.	
Verhaart, Dr. G.J.	
Geluk, Prof.dr.ir. J.J.	werkverg.332, deel 50,p.160
Van der Steen, Ir. H.G.W.	
Herman, Ir. S.H.L.	
Van den Berg, Prof.dr.ir. P.M.	werkverg.333,deel 50,p.166
Schalkwijk, Prof.dr.ir. J.M.	
Brussaard, Dr. G.	
Stumpers, Prof.dr. F.L.H.M.	



Uitreiking Vederprijs 1982. (1984)



Afscheids-receptie

PICTURE PROCESSING APPLICATIONS CONFERENCE SENDS OUT A CALL FOR PAPERS.

W.T.C.E. - Eindhoven, november 1, 1985.

A call for papers has gone out for the 1986 Picture Processing Applications Conference, to be held here May 13 to 15, 1986 sponsered by the Center of Micro Electronics, the World Trade Center Electronics and the Commission of the European Communities.
Included at the conference will be: tutorials, panel discussions, and exhibits by workstation suppliers and dedicated IC-makers.
Papers to be covered will be in technology and applications of the following area's:
- feature extration and recognition;
- image processing;
- coding technics;
- algorithms for parallel processing.

Authors should send 10 copies each of a 250-word summary and 35-word abstract outlining the 20 minute presentation and specifying new results of research. The sponsors recommend inclusion of one copy of an additional document of no more than four pages supporting the findings.
Authors name, affiliation, address and telephone must be included on the summary. Deadline for submission is February 1, 1986.
Those received after the deadline will be considered late papers.
Notices of acceptance will be mailed out February 28, 1986.
Authors of accepted papers will be asked to submit a manuscript by March 30, of up to three pages, including figures, in camera-ready format.
Summaries and abstract should be send to:
Ing. Pieter Bolhuis, Coordinator, P.P.A.C.'86.
P.O.Box 2085, 5600 CB EINDHOVEN, HOLLAND.
Tel. (3140)-442575.
Any other correspondence should be send to:
Ir. Theo Kremers, Technical Programm Chairman, P.P.A.C.'86
P.O.Box 2085, 5600 CB EINDHOVEN, HOLLAND.

LEDENMUTATIES

Voorgestelde leden

Ir. J.W. Meijer, Hoekerkade 89, Zoetermeer.
Ir. E. Verzijl, Nesciohove 103, Zoetermeer.

Nieuwe leden

G.P. den Braber, Crabethstraat 16, Papendrecht.
Ir. F.K. Kappetijn, Kleine Vinkstraat 23, Nieuwerkerk a/d IJssel.

Nieuwe adressen van leden

J. Addink, Keizer Karellaan 151, Deventer.
Ing. N.P.J.M. Baas, Tijmgaard 5, Heerlen.
H. Griffioen, Oude Arnhemseweg 23, Lunteren.
Ir. J.G. Nijboer, Dwarsstraat 122, Geldrop.
Ir. H.J. Sanderson, Tongelresestraat 399 A, Eindhoven.
Ir. L. Tijben, p/a Boelestraat 14, Kampen.

Als bijlage bij dit tijdschrift vindt U de ledenlijst 1986.

Het tijdschrift wordt aan alle leden van het genootschap toegestuurd. Deze lijst is tevens verzendlijst van het Tijdschrift van het NERG.

Tijdschrift van het Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap.

Inhoud

deel 50 - nr. 6 - 1985

druk: de Witte Eindhoven